الجمهورية العربية السورية

جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية

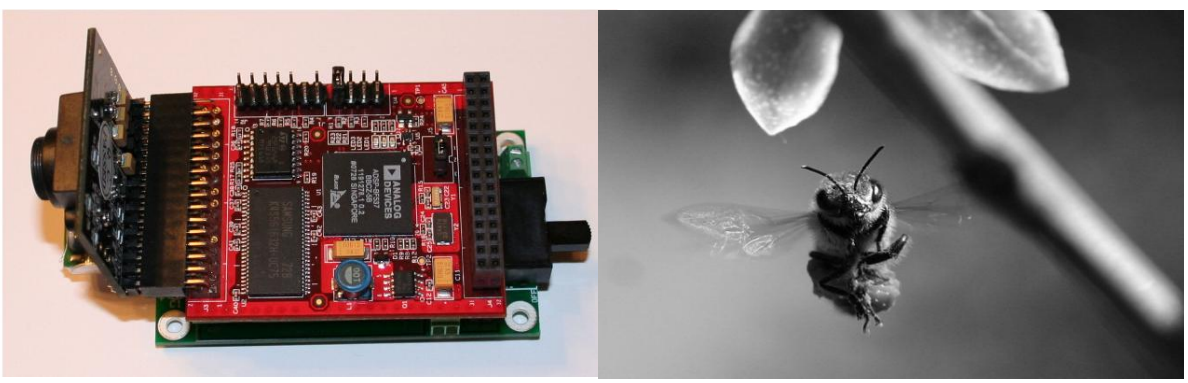
ماجستير الدراسات العليا

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإلكترونية – قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة

<u>عنوان الرسالة:</u>

تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثل للدارات المطبوعة PCB

Application of the Bees Algorithm to PCB Assembly Optimisation



إعداد

م. أيمن الجربوع

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف من هذا البحث هو الحصول على أقل زمن مُمكن لتجميع الدارة المطبوعة PCB باستخدام خوارزمية النحل، أي الحصول على المسار الأمثل الذي سيتبعه رأس التجميع في ماكينة التجميع الآلية عندما يتم وضع العناصر الإلكترونية في مواقعها على الدارة المطبوعة، ويتم التعبير عن هذا المسار بترتيب مواقع العناصر الإلكترونية على الدارة المطبوعة وترتيب تسلسل الملقمات في مصفوفة الملقمات التي تحتوي على العناصر، والمسار الأمثل هو المسار ذو زمن التجميع الأقل، فكلما نقص زمن تجميع الدارة المطبوعة ازداد عدد الدارات المطبوعة التي يتم إنتاجها وتجميعها ، فلإذا كانت ماكينة التجميع الآلية تعمل بشكل متواصل 24 ساعة في اليوم على مدار السنة، فإن توفير كل 1 ثانية في زمن تجميع الدارة المطبوعة سيؤدي إلى زيادة عدد الدارات المطبوعة التي يتم تجميعها خلال عام بمقدار 50407 دارة مطبوعة.

الملخص:

يناقش هذا البحث تطبيق خوارزمية النحل في حل مشكلتين رئيسيتين تتعلقان بآلية تجميع الدارات المطبوعة، وتتلخص هاتان المشكلتان في إيجاد التسلسل الأمثل لوضع العناصر الإلكترونية في مواقعها وفي إيجاد الترتيب الأمثل لمصفوفة الملقمات حسب تسلسل وضع العناصر في مواقعها. أثبتت التجارب أن خوارزمية النحل تُساهم بشكل فعال في الحصول على الحل الأمثلي لتجميع الدارة المطبوعة والذي يؤمن أقل زمن مُمكن لتجميع الدارات المطبوعة مُقارنة مع الحلول التي يمكن الحصول عليها من الخوارزميات الأخرى مثل الخوارزمية الجينية ما يُساهم في تقليص زمن تصنيع هذه الدارات وزيادة إنتاجية هذه الدارات في خطــوط الإنتـــاج الكبيرة.

الدراسة المرجعية:

خوارزمية النحل

قام عدد كبير من العلماء والباحثين بتطوير خوارزمية النحل التي تعتمد على سلوك النحل في عملية جمع الغذاء واحضاره للخلية ومن هذه الدراسات:

1. اقترح Sato and Hagiwara تحسين الخوارزمية الجينية باستخدام خوارزمية النحل التي تحاكي سلوك النحل في عملية الحصول على الغذاء.

2. درس Karaboga خوارزمية النحل الاصطناعية ABC التي تحاكي سلوك النحل في جمع الغذاء وهي خوارزمية جديدة لمحاكاة هذا السلوك عند النحل من أجل حل مسائل الأمثلة المتعددة الأبعاد والمتعددة الوسائط.

3. قدم Yang خوارزمية النحل Virtual Bee Algorithm (VBA) التي تستخدم لإيجاد الحل الأمثل لتوابع الهدف.

4. قدم Basturk and Karaboga خوارزمية نحل اصطناعية ABC أخرى، ووسعا النتائج التجريبية لما قدمه Karaboga (2005).

5. اقترح Teodorovic and Dell'Orco خوارزمية النحل لتحقيق الأمثلية (BCO) (Bee Colony Optimization) وهي عبارة عن تعميم لخوارزمية النحل التي اقترحها Lucic عام (2002)، تستطيع الخوارزمية BCO حل مسائل الاندماج الحتمية بالإضافة لإمكانية حل مسائل الإندماج التي تتسم بعدم اليقين (الاحتمالية).

6. قدم Bianco نموذج رسم الخرائط للملاحة بدقة عالية الذي أخذ إلهام الرسم من سلوك النحل في الملاحة. يقوم النحل في عملية البحث عن الغذاء في الملاحة لمسافات طويلة جداً، والسفر لعدة كيلومترات، ولكن في الوقت نفسه، يملك دقة ممتازة في عودتهم إلى خلايا النحل الصغيرة. أظهرت نتائج الاختبارات أن مثل هذه القدرات كافية للحصول على دقة جيدة.

7. قدم Drias وآخرون طريقة ذكية جديدة تسمى سرب النحل الأمثل Bees Swarm Optimization وتختصر (BSO) وهس مستوحاة من سلوك النحل الحقيقي في عملية تقييم الأماكن التي تكون أغنى بالرحيق وغبار الطلع وجني العسل منها، تتكيف الخوارزمية المقترحة لحل مسألة (MAX-W-SAT).

8. طور Quijano and Passino خوارزمية النحل من أجل حل مسألة تخصيص الموارد Dynamic Resources.

<u>الخطوط العامة للبحث:</u>

تتألف هذه الأطروحة من خمسة فصول. يضم الفصل الأول الجزء النظري ويشرح هذا الجزء المقدمة ومكونات الدارة المطبوعة وتلحيم العناصر وتثبيتها على الدارة المطبوعة وإعتبارات عامة لتصميم الدارات المطبوعة، وماكينات التجميع الآلية المستخدمة في التجميع الآلي للدارات المطبوعة.

سيتم التحدث في الفصل الثاني عن الدارة المستخدمة في البحث، والعناصر الإلكترونية المستخدمة في الدارة.

أما الفصل الثالث فيتحدث عن سلوك النحل في البحث عن الغذاء والشكل الأبسط لخوارزمية النحل ويقدم مثالاً على خوارزمية النحل ومجالات استخدام خوارزمية النحل.

ويناقش الفصل الرابع تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثلي للدارات المطبوعة والحصول على مسار التجميع الأمثلي للدارة المطبوعة الذي يؤمن أقل زمن ممكن لتجميع الدارة المطبوعة، وبلغ زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب هذا المسار 25.6664 ثانية.

أما الفصل الخامس فيشرح الخوارزمية الجينية وتطبيقها في التجميع الأمثلي للدارات المطبوعة، وتم الحصول على مسار تجميع يؤمن تجميع الدارة المطبوعة المستخدمة في البحث خلال 28.0522 ثانية.

الفصل الأول: الجزء النظري

1.1. المقدمة:

الدارات المطبوعة عبارة عن صفائح رقيقة تُصنع من مواد عازلة كهربائياً يتم تجميع العناصر الإلكترونية عليها بحيث توصل هذه العناصر فيما بينها بطريقة تُؤمن نقل الإشارات بينها بما يتناسب مع الوظيفة التي ستقوم بها في الدارة ، ويتم تأمين الإتصال الكهربائي بين العناصر باستخدام طبقة ناقلة تُصنع عادة من النحاس الجيد على شكل خطوط رفيعة ناقلة [1].

يرمز للدارة المطبوعة بالرمز PCB اختصار لعبارة Printed Circuit Board، وفي الولايات المتحدة الأمريكية يرمز لها بالرمز PWB اختصاراً لعبارة Printed Wired Board.

1.2. مكونات الدارة المطبوعة:

تتألف الدارة المطبوعة من ثلاثة أجزاء أساسية وهي:

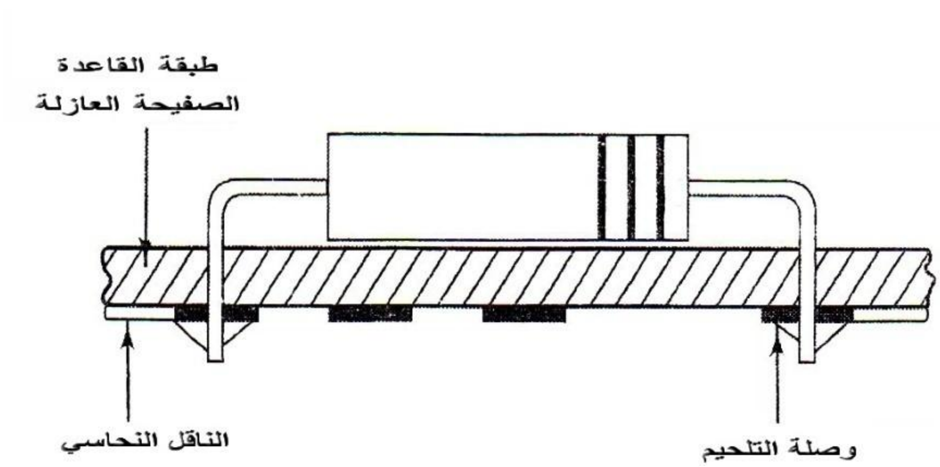
1.الطبقة العازلة.

2.النواقل النحاسية.

3.العناصر الإلكترونية.

1.2.1. الطبقة العازلة:

كما هو مبين على الشكل 1.1، بأن الطبقة العازلة تزود دعم ميكانيكي للعناصر الإلكترونية.



الشكل (1.1) الطبقة العازلة في الدارة المطبوعة

الطبقة العازلة هي صفيحة رقيقة مصنوعة من مادة عازلة كهربائياً، وهذه الصفيحة قد تكون صلبة أو مرنة وتُصنع من مواد عازلة مثل الألياف الزجاجية أو مزيج من الزجاج والبوليميد وهذه المواد العازلة لا تنقل التيار الكهربائي [2].

الوظيفة الأساسية للطبقة العازلة في الدارة المطبوعة هي تزويد دعم ميكانيكي للعناصر الإلكترونية وتأمين الاتصالات الداخلية فيما بينها، أي نقل التيار الكهربائي و إشارات التحكم عبر النواقل النحاسية عليها، وتتألف الطبقة العازلة من مواد مركبة، وتشمل هذه المواد مادة الفيلر Filler ومادة الريتنج Resin حيث تُمزج هاتان المادتان معاً وتُضغطان في حرارة وضغط مناسبين لتشكيل طبقات عازلة رقيقة، والمادة الناتجة تُسمى مادة القاعدة ويمكن أن تكون هذه المادة صلبة أو مرنة [2].

1.2.2. الفيلر:

تُستخدم مادة الفيلر في تركيب الطبقات العازلة لتزويد قوة ميكانيكية وصلابة للصفيحة العازلة، وأكثر أنواع الفيلر إستخداماً الفيلر الورقي والفيلر الزجاجي، ويكون الفيلر عادة على شكل خيوط ورقية أو زجاجية، والخيوط الورقية تُستخدم عادة كفيلر في أكثر الدارات المطبوعة، لأنها تكون أقل كلفة إلا أن قابليتها لامتصاص الرطوبة كبيرة.

الخيوط الزجاجية تُستخدم كفيلر في تركيب الصفائح العازلة وتكون أكثر إستخداماً لأن قوة الشد لديها عالية كما أن ثباتها الحجمي عالٍ، بالإضافة إلى أنها تُبدي مقاومة عالية لتغير درجة الحرارة وتمتص مقداراً قليلاً من الرطوبة [2].

1.2.3. الريتنج:

يُستخدم الريتنج بمزجه مع الفيلر لتشكيل الطبقات العازلة، ويعمل الريتنج كلاصق لتأمين قوة الارتباط بين الطبقات المؤلفة للصفيحة العازلة، و تشمل أنواع الريتنج المستخدمة الفينول، البوليستر، الإيسترسيانات، ريتنج من نوع Epoxy والبوليميد، حيث يُستخدم الفينول والريتنج من نوع Epoxy بنسبة % 90 في كل الصفائح العازلة، كما يعتمد إختيار الريتنج المناسب على الخواص الكهربائية والحرارية والميكانيكية والكيميائية للدارة المطبوعة.

الريتنج من نوع Epoxy هو الأكثر استخداماً ويُضاف له أحياناً مواد مضافة لإعطائه خواص حرارية عالية وزيادة في المقاومة الكيميائية، ويُستخدم الريتنج لملئ الفراغات بين خيوط الفيلر حيث أن أي فراغ داخلي يُمكن أن يؤدي الى فشل ميكانيكي للصفيحة العازلة [3].

يُستخدم ريتنج البوليميد عندما تكون الظروف الحرارية قصوى، وتكون درجة حرارة تحول الزجاج Tg للبوليميد أكثر من 220 °C، كما أنه يستجيب للعمل بشكل ممتاز مع درجات الحرارة العالية.

طُورت في السنوات الأخيرة أنواع جديدة من الصفائح العازلة، وتملك هذه الأنواع درجة حرارة تحول الزجاج Tg أكثر من 220 °C، وفي بعض الحالات الخاصة أكثر من 300°C، ومثالاً على هذه الصفائح نذكر الإيسترسيانات والإيتربوليفينيلين.

ويُبين الجدول 1.1 خواص بعض أنواع الصفائح العازلة [4].

مادة الصفيحة العازلة	درجة حرارة Tg (°C)	ثابت العزل الكهربائي εr	عامل التبدد
FR4	130 – 150	4.5	0.022
Tetra functional epoxy	175	4.4	0.020
Polyphenylene ether	175	3.4	0.009
Epoxy / Polyphenylene	180	3.9	0.013
Bismaleimidetriazine	180	4.1	0.013
Thermount	220	4.1	0.022
Cyanate ester	240	3.8	0.009
Polyimide	280	4.3	0.020
Liquid crystal polymer	280	2.8	0.002

الجدول (1.1) خواص بعض أنواع الصفائح العازلة

1.2.4. تصنيع الطبقات العازلة وتركيبها مع الطبقة النحاسية:

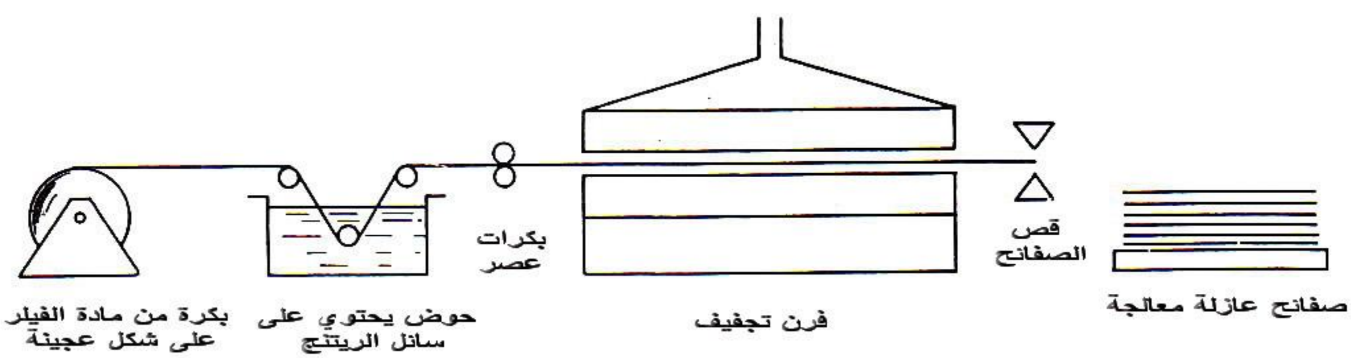
المواد الخام المستخدمة في عملية التصنيع هي:

1.الزجاج Glass.

2.الريتنج Resin.

وهذه المواد تكون مضغوطة معاً لتعطي صفائح ثابتة حجمياً ومقاومة للرطوبة.

تُطبق مادة الريتنج السائل إلى خيوط الفيلر باستخدام مجموعة من البكرات، ثم يُطبق المزيج الناتج إلى فرن تجفيف ذو هواء حار أو ذو أشعة تحت حمراء، حيث تتم في هذا الفرن عملية معالجة للمزيج وتُدعى هذه المرحلة من مادة الريتنج مرحلة β، وتُعرف المادة في هذه المرحلة بمادة Prepreg أو مادة β، ويُبين الشكل 1.2 مراحل تصنيع الصفائح العازلة [2].



الشكل (1.2) مراحل تصنيع الصفائح العازلة

1.3. النواقل النحاسية:

وهي خطوط رفيعة تُصنع من النحاس عالي الجودة بدرجة نقاوة تصل إلى 99% مهمتها تأمين الاتصال الكهربائي ونقل الإشارات بين العناصر الإلكترونية، وتتصل خطوط النحاس هذه بثبات على سطح الطبقة العازلة.

1.3.1. الصفيحة النحاسية الناقلة:

الصفيحة النحاسية الناقلة تكون على سطح الصفيحة العازلة، وهي طبقة ناقلة تكون مصنوعة من النحاس، النيكل، الستانلس ستيل، نحاس البريليوم، والمادة الأكثر إستخداماً هي النحاس بسبب توفره السهل وكلفته المنخفضة، ويمكن أن تكون طبقة النحاس على جهة واحدة أو على طبقتين متقابلتين اعتماداً على الحاجة والاستخدام، وتعتمد جودة الدارة المطبوعة بشكل كبير على خواص طبقة النحاس الناقلة، وبالتالي ف إن جودة طبقة النحاس الناقلة تكون مطلوبة، وعادة تكون طبقة النحاس رقيقة بسماكة 17.5 ميكرون، 35 ميكرون، 70 ميكرون، وتكون على شكل إسطوانات ضخمة تزن 136 إلى 181 كغ. والجدول 1.2 يُبين مقياس سماكة طبقة النحاس الأكثر استخداماً [5].

السماكة	الوزن		المقاومة M Ω
	الوزن الأساسي g/m^2	مجال الدقة	
12 µm	107	± 10 %	9.3
18 µm	153	± 10 %	7.0
35 µm	305	± 10 %	3.5
70 µm	610	± 10 %	1.8

الجدول (1.2) مقياس سماكة طبقة النحاس الأكثر إستخداماً

تُصنع أغلب الصفائح العازلة مع رقائق نحاس ذات سماكة gr/m^2 305 أو أخفض، ومجال الوزن يكون عادة $\mp 10\,\%$.

1.3.2. تصنيع الصفيحة الناقلة النحاسية:

تُصنع طبقة النحاس بطريقتين:

1. طريقة الصهر.

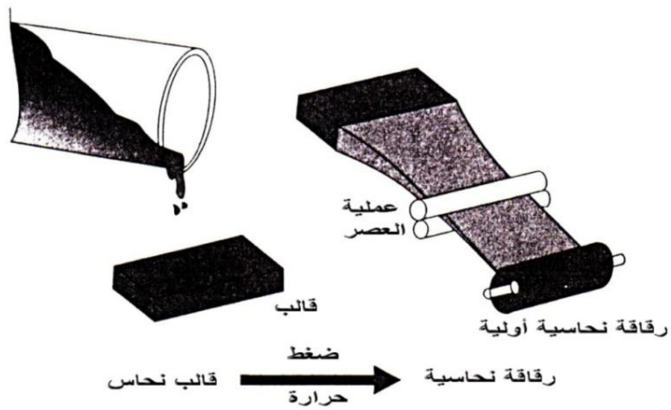
2. طريقة الترسيب الكهربائي باستخدام محلول كبريت النحاس.

1.3.3. طريقة الصهر:

وفيها تُصنع رقاقة النحاس بصهر النحاس داخل قوالب ضخمة، ويُصب النحاس المصهور في قوالب ذات تصميم خاص لإعطاء قوالب لدنة من النحاس، ويتم تطبيق هذه القوالب اللدنة من النحاس إلى سلسلة من البكرات ذات قوة ضغط

ودرجة حرارة معينة لتشكيل رقاقة النحاس بالسماكة المطلوبة، وتعتمد سماكة الرقاقة على قوة الضغط ودرجة الحرارة للبكرات، كما تتميز الرقاقة المصنعة في هذه الطريقة بأنها ذات سطح ناعم، لكنها ذات كلفة عالية.

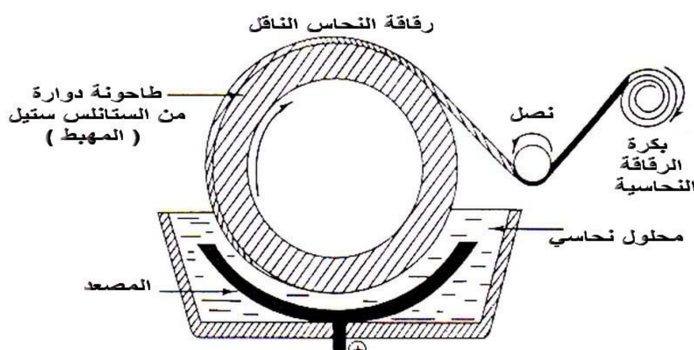
مجال عرض الصفائح في هذه الطريقة يكون 635 mm–965 mm، والنحاس الناتج يكون نقياً بدرجة 99.9 %، ويُستخدم عادة في تصنيع الدارات المطبوعة المرنة، ويعتمد تصنيع هذا النوع من الصفائح على تلدين النحاس في درجات حرارة عالية، ويُبين الشكل 1.3 طريقة الصهر [6].



الشكل (1.3) طريقة الصهر

1.3.4. طريقة الترسيب الكهربائي باستخدام محلول كبريت النحاس:

يعتمد تصنيع هذه الصفائح على تغطيس معدن النحاس في محلول كبريت النحاس، حيث يُشكل معدن النحاس في المحلول المصعد Anode، بينما يُغطس في المحلول جزء من إسطوانة دوارة مصنوعة من مادة الستانلس ستيل المصقول تُشكل المهبط Cathode وتدور ببطء، ومع الدوران البطيء للإسطوانة يحدث تفاعل كيميائي في المحلول يُؤدي إلى ترسب ذرات النحاس على الإسطوانة الدوارة، ما يُؤدي إلى تشكل طبقة من النحاس تُقشر بعد خروج الإسطوانة من المحلول بسبب السطح المصقول لمادة الستانلس ستيل المشكلة للإسطوانة الدوارة، وبعد التقشير تُلف رقائق النحاس المقشورة على شكل لفات، ويُبين الشكل 1.4 طريقة الترسيب الكهربائي [3].



الشكل (1.4) طريقة الترسيب الكهربائي

وهذه اللفات تكون بعرض 1970 mm وذات سماكة 5 ميكرون، وفيها يكون نقاء النحاس % 99.5، ومن فوائد هذه الرقائق من النحاس التشكيل السريع جداً للنواقل النحاسية، كما أن ضياعات الحفر فيها تكون قليلة، ويبين الجدول 1.3 خواص الرقاقة النحاسية الناقلة [3].

خواص الرقاقة النحاسية الناقلة	السماكة الاسمية للرقاقة النحاسية	
	35 µm	70 µm
الوزن الإسمية [g/m^2]	305	610
مجال الدقة للوزن [%]	± 10 %	± 10 %
مجال الدقة للسماكة [µm]	± 5 %	± 7.6 %
نقاء طبقة النحاس المترسبة [%]	99.8	99.8
المقاومة في درجة حرارة 20°C [Ω g/m^2]	0.15940	0.15940

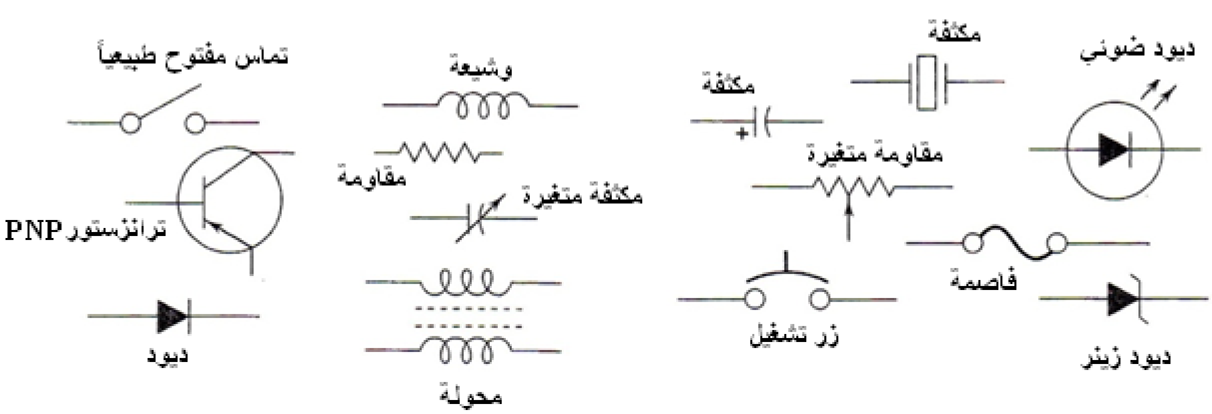
الجدول (1.3) خواص الرقاقة النحاسية الناقلة

1.4. العناصر الإلكترونية:

تُستخدم كل أنواع العناصر الإلكترونية في الدارات المطبوعة، ويُستخدم العنصر الإلكتروني حسب الوظيفة التي سيقوم بها في الدارة، وتُصنف العناصر الإلكترونية حسب فعاليتها إلى نوعين: (فعالة Active–غير فعالة Passive)، وتُستخدم في الدارة المطبوعة لأداء وظيفة معينة وكل أنواع العناصر الإلكترونية يتم تجميعها في الدارات المطبوعة.

1.4.1. رموز العناصر:

كل العناصر الإلكترونية لها رموز، وتم اعتماد الرموز من قبل معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE (Institute of Electrical &Electronic Engineering)، والدارات المتكاملة يكون رمزها على شكل صندوق يحتوي على عناصر حسب العناصر المؤلفة للدارة المتكاملة [2].



الشكل (1.5) بعض رموز العناصر

1.5. التوصيل في الدارات المطبوعة:

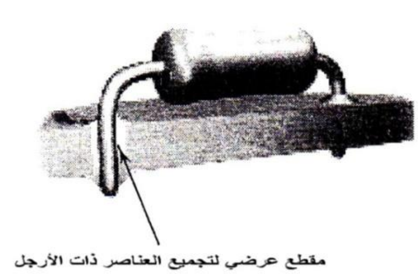
توجد طريقتان لتوصيل العناصر في الدارات المطبوعة:

1. أرجل العناصر الإلكترونية تخترق سطح الدارة المطبوعة.

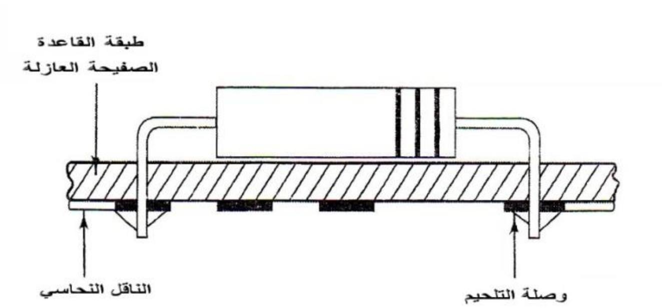
2. تجميع العناصر مباشرة على سطح الدارة.

1.5.1. أرجل العناصر الالكترونية تخترق سطح الدارة المطبوعة:

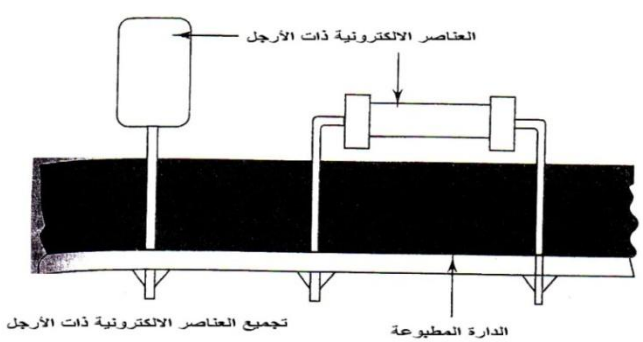
كما هو مُبين في الأشكال 1.6, 1.7, 1.8.



الشكل (1.6)



الشكل (1.7)



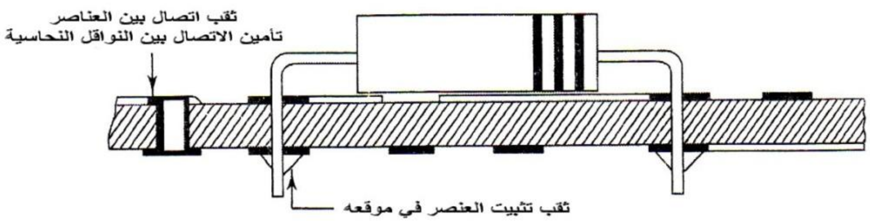
الشكل (1.8)

في هذه الطريقة تخترق أرجل العناصر سطح الدارة المطبوعة، حيث تتوضع العناصر الإلكترونية على طرف من الدارة المطبوعة يُدعى طرف العنصر Component Side، بينما يتم التلحيم للوصل بين العناصر على الطرف الآخر من الدارة ويُدعى طرف التلحيم Solder Side [5].

وحسب درجة تعقيد الدارة المطبوعة وكثافة العناصر الإلكترونية وتعقيد الإتصالات بينها تُقسم هذه الطريقة إلى نوعين:

1. التوصيل بين العناصر عبر ثقوب إتصال PTH.
2. التوصيل بين العناصر دون ثقوب إتصال n - PTH.

1.5.2. التوصيل بين العناصر باستخدام ثقوب إتصال PTH:



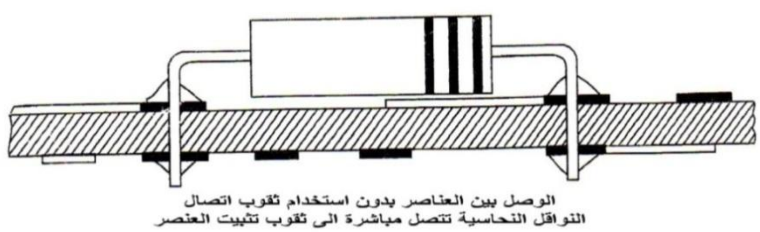
الشكل (1.9) التوصيل بين العناصر باستخدام ثقوب إتصال PTH

كما هو مُبين على الشكل 1.9 في هذه الطريقة تخترق أرجل العناصر الدارة المطبوعة عبر ثقوب صغيرة Holes ويُستخدم ثقب إتصال بين العناصر مهمته تأمين الوصل بين ثقوب أرجل العناصر عبر سلك ناقل نحاسي ملتصق على سطح طبقة القاعدة [5].

لا تُستخدم في هذه الطريقة أسلاك التوصيل الكهربائية التقليدية Jumpers ما يُؤمن سهولة في تجميع العناصر وزيادة وثوقية الدارة [5].

1.5.3. التوصيل بين العناصر بدون استخدام ثقوب إتصال n – PTH:

في هذه الطريقة تخترق أرجل العناصر الدارة المطبوعة عبر ثقوب صغيرة Holes وتُستخدم أسلاك توصيل كهربائية Jumpers لتأمين الإتصال الكهربائي ونقل الإشارات بين العناصر بوصل سلك ناقل بين رجل العنصر ورجل العنصر الذي سيتصل به، وتُستخدم هذه الطريقة من أجل الدارات البسيطة وغير المعقدة عندما يكون عدد عناصر الدارة صغير وإتصالاتها بسيطة، ويُبين الشكل 1.10 هذه الطريقة [2].

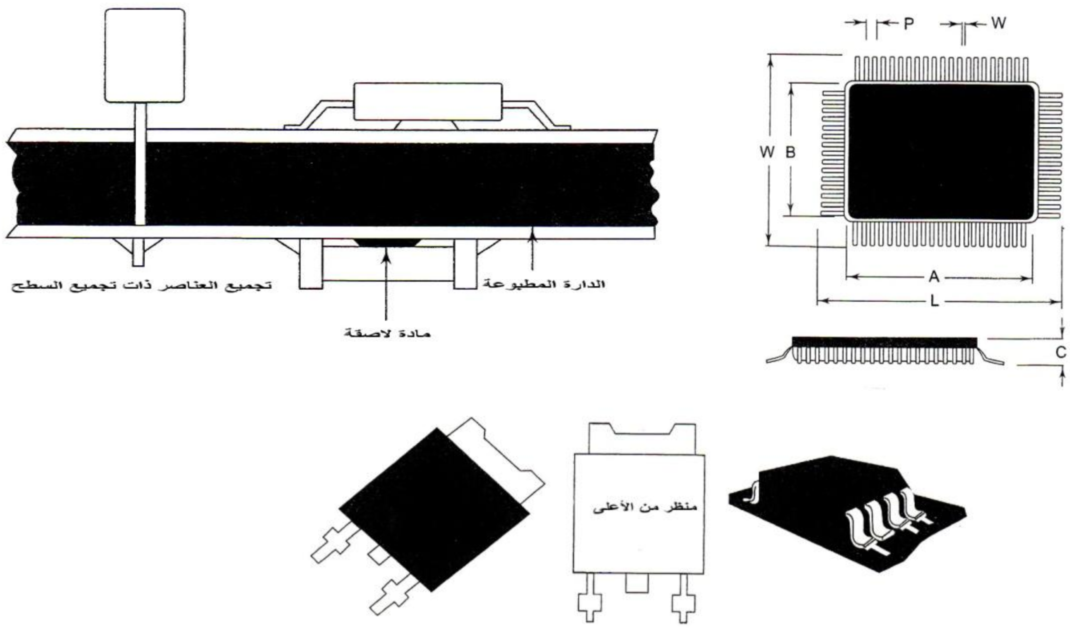


الشكل (1.10) التوصيل بين العناصر بدون استخدام ثقوب اتصال n-PTH

1.5.4. تجميع العناصر مباشرة على سطح الدارة:

كما هو مُبين على الشكل 1.11 في هذه الطريقة تكون أرجل العناصر الإلكترونية قصيرة جداً وتُوصل مباشرة على نواقل سطح الدارة المطبوعة، و يُثبت كل عنصر بلاصق عازل على سطح الدارة المطبوعة ثم يُلحم العنصر، ويُحسب

البعد بين أرجل هذه العناصر بقياس البعد بين مركز كل رجل ومركز الرجل التي تليها، كما هو مُبين على الشكل 1.12 [2].



الشكل (1.11) تجميع العناصر مباشرة على سطح الدارة



الشكل (1.12)

تمتاز هذه الطريقة بإمكانية تجميع العناصر على كلا طرفي الدارة، وهي من أفضل طرق تجميع العناصر لأنها تؤمن سهولة تجميع العناصر وتخفيض حجم الدارة وزيادة وثوقيتها.

تُستخدم هذه التقنية في الدارات المطبوعة المعقدة المستخدمة في التطبيقات الإستراتيجية كالتكنولوجيا الإلكترونية العسكرية وصناعة الصواريخ وأنظمة الإتصالات والأقمار الإصطناعية والطيران والفضاء.

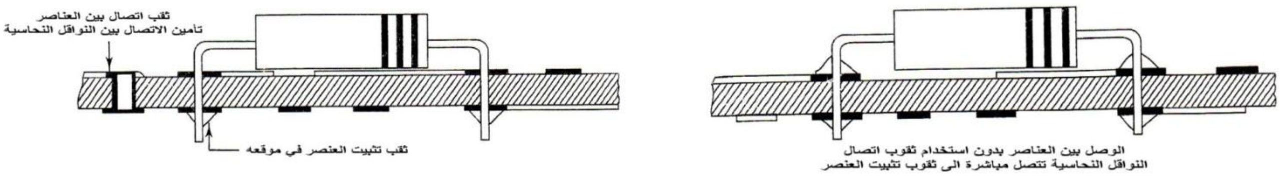
1.6. تصنيف الدارات المطبوعة:

تُصنف الدارات المطبوعة علمياً حسب عدد الطبقات التي تتألف منها إلى نوعين:

1. دارات مطبوعة أحادية الطبقة Single Layer Boards.
2. دارات مطبوعة متعددة الطبقات Multi Layer Boards.

1.6.1. دارات مطبوعة أحادية الطبقة:

كما هو مُبين على الشكل 1.13.



الشكل (1.13) دارات مطبوعة أحادية الطبقة

تتألف هذه الدارات من طبقة واحدة، وتتألف الطبقة الواحدة لهذه الدارة من:

1. طبقة من النحاس تشكل النواقل النحاسية وتكون في طرف العنصر من الدارة المطبوعة.

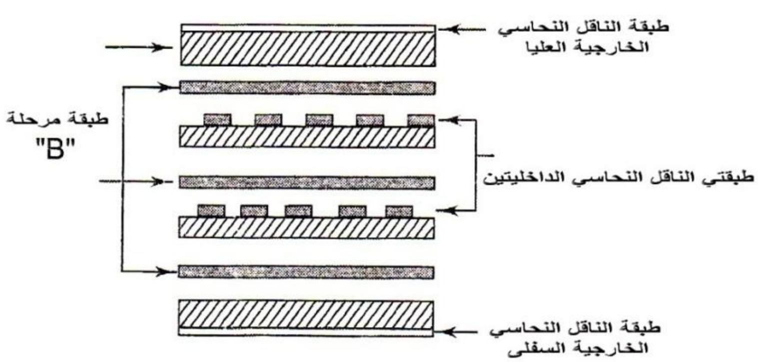
2. طبقة من مادة عازلة كهربائياً وهي طبقة القاعدة Base Laminate.

3. طبقة من النحاس تشكل النواقل النحاسية وتكون في طرف التلحيم من الدارة المطبوعة.

يُمكن تجميع العناصر على كلا طرفي الدارة، وتُستخدم هذه الدارات في التطبيقات التجارية والبسيطة عندما لا يكون عدد العناصر كبير جداً وعندما لا تكون التوصيلات الكهربائية مُعقدة [1].

1.6.2. الدارات المطبوعة متعددة الطبقات:

مع تطور العلم والتكنولوجيا واستخدام الدارات الإلكترونية في مجالات إستراتيجية هامة مثل المجالات العسكرية وصناعة الصواريخ ومجال الطيران والفضاء إزداد تعقيد الدارات الإلكترونية المستخدمة فيها إذ أصبح عدد العناصر الإلكترونية أكثف كما إزداد تعقيد التوصيل بين العناصر، لذا تم تطوير الدارات المطبوعة أحادية الطبقة إلى دارات مطبوعة متعددة الطبقات، ويُبين الشكل 1.14 دارة مطبوعة متعددة الطبقات مؤلفة من 4 طبقات.



الشكل (1.14) دارة مطبوعة متعددة الطبقات مؤلفة من 4 طبقات

وتتألف الدارة المطبوعة المؤلفة من 4 طبقات من:

1. طبقتان خارجيتان ناقلتان من النحاس، وهما الطبقتان 1 و4.

2. طبقتان داخليتان ناقلتان من النحاس، وهما الطبقتان 2 و3.

3. تفصل بين الطبقات الخارجية والطبقات الداخلية من النحاس طبقتان من مادة عازلة.

4. تفصل بين الطبقتان الداخليتان 2 و 3 طبقة عازلة وتكون عادة Prepreg وهي طبقة عازلة مؤلفة من مزيج من الألياف الزجاجية وريتنج من نوع Epoxy ويكون المزيج نصف مُعالج حرارياً.

تتراوح سماكة الدارة المطبوعة متعددة الطبقات 1.8–4 mm، ويبين الجدول 1.4 السماكة الكلية الإسمية لدارة مطبوعة متعددة الطبقات كما يلي [1]:

الطبقة	السماكة
طبقة ذهب	3 µm
طبقة نحاس طلي كهربائي	25 µm
طبقة نحاس ناقلة No.1	35 µm
طبقة عازلة	640 µm
طبقة نحاس ناقلة No.2	35 µm
طبقة Prepreg ريتنج نصف معالج	120 µm
طبقة نحاس ناقلة No.3	35 µm
طبقة عازلة	640 µm
طبقة نحاس ناقلة No.4	35 µm
طبقة نحاس طلي كهربائي	25 µm
طبقة ذهب	3 µm
السماكة الكلية	1596 µm

الجدول (1.4) خواص الرقاقة النحاسية الناقلة

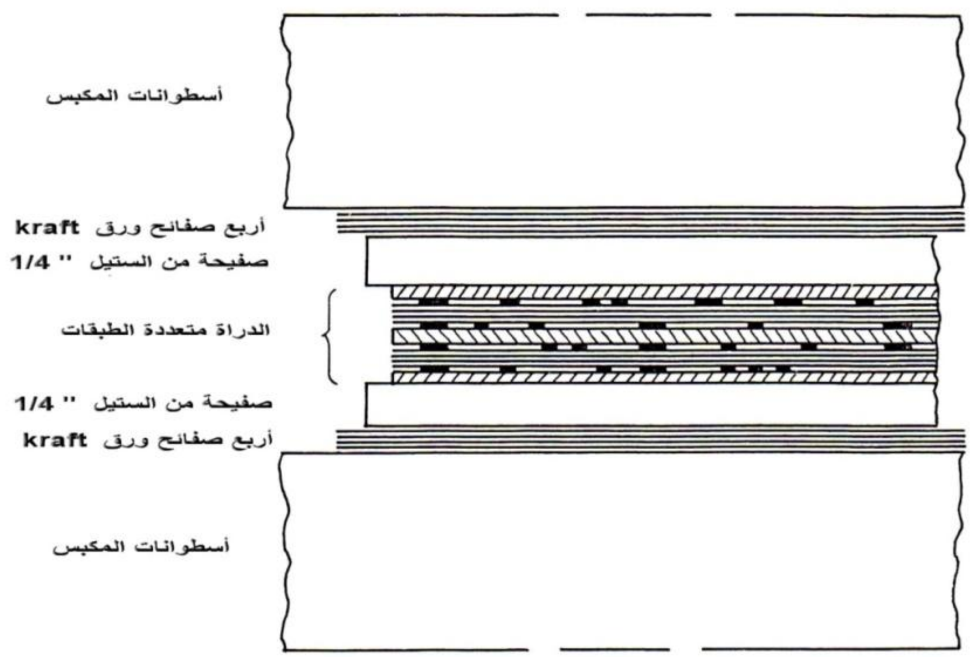
سماكة طبقة Prepreg الأصغرية المرغوبة يجب أن تكون على الأقل ضعفي سماكة طبقة النحاس، وتُعتبر سماكة الصفيحة العازلة مؤشر هام لوصف ثابت العزل الكهربائي والتحكم به، ومادة Prepreg : ROR4403 هي مادة جيدة وهي مصنعة من قبل شركة ROGERS CORPORATION، وتستخدم مواد Prepreg أخرى مثل RO4003 وRO4350 لأجل الدارات الميكروية [3].

1.6.2.1. تصنيع الدارات متعددة الطبقات:

تُصنع الدارات متعددة الطبقات بربط الطبقات الداخلية والخارجية معاً باستخدام مادة Prepreg، وهي نسيج من قماش زجاجي مشبع بريتنج مقسى جزئياً.

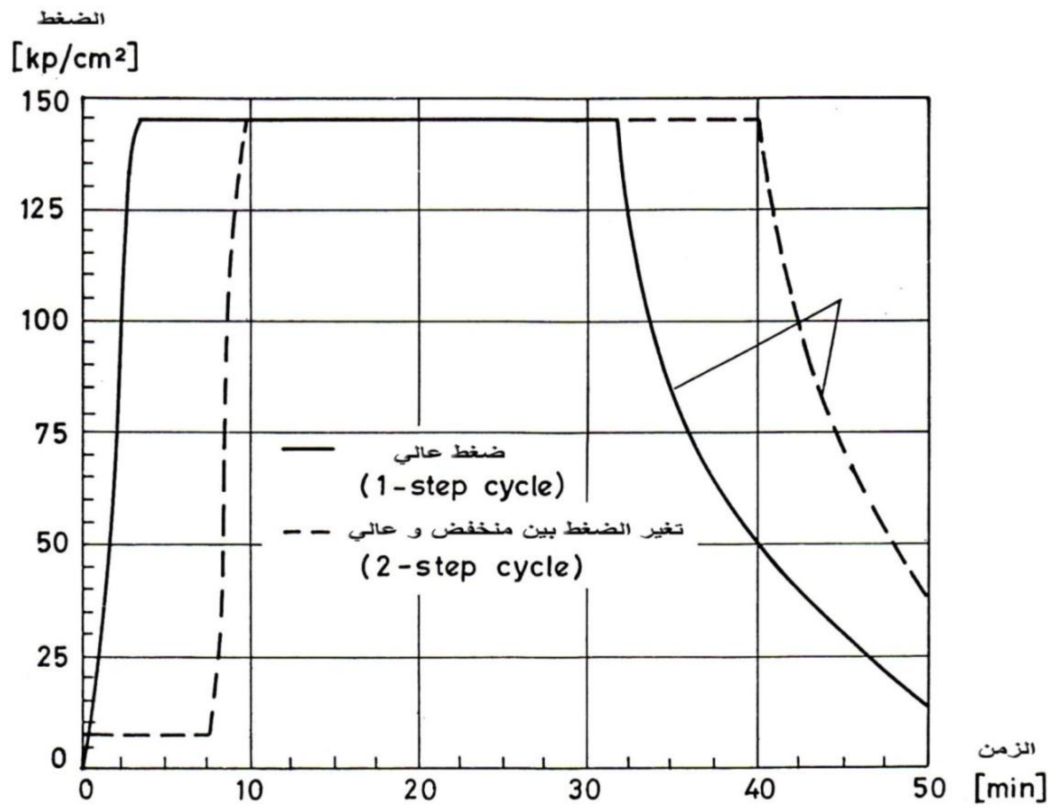
يتم ربط الطبقات الخارجية والداخلية معاً باستخدام مكبس حيث تكون درجة الحرارة 180°C، أما الضغط فيكون حسب حجم الدارة، مثلاً إذا كان حجم الدارة 250 X 300 mm مع هوامش 275 X 325 mm فإن القوة الكلية المطلوبة تكون 300 Psi، حيث أن ضغط بمقدار 25 طن يكون مُلائماً.

يملك المكبس المُستخدم صفائح ضغط سميكة، وتكون بين هذه الصفائح الضخمة فسحة 150 mm من أجل القدرة على إدخال وإزالة الدارات المطبوعة بسهولة، ويمكن أن تكون صفائح المكبس من الستانلس ستيل أو الألمنيوم بسماكة حوالي 6.4 mm من أجل تزويد ثبات حجمي أفضل للدارات، ويجب أن تكون سطوح الصفائح خالية من الحفر. تُسخن صفائح المكبس إلى درجة حرارة 180°C وتكون طبقات الدارة المطبوعة مرتبة، ثم تُضغط، ويُبين الشكل 1.15 استخدام المكبس في ضغط الدارات المطبوعة متعددة الطبقات [2].



الشكل (1.15) استخدام المكبس في ضغط الدارات المطبوعة متعددة الطبقات

يُغلق المكبس ويُطبق ضغط عالٍ لمدة لا تقل عن 45 دقيقة، ثم تُبرد الدارة في المكبس تحت درجة حرارة 60°C أو أخفض، ويُبين الشكل 1.16 العلاقة بين ضغط المكبس وزمن معالجة الدارات باستخدام المكبس.



الشكل (1.16) العلاقة بين ضغط المكبس و زمن المعالجة

يُمكن تصنيف الدارات المطبوعة أيضاً على أساس نوع المادة العازلة المستخدمة في طبقة القاعدة إلى:

1. دارات مطبوعة صلبة Rigid PCBs.

2. دارات مطبوعة مرنة Flexible PCBs.

1. الدارات المطبوعة الصلبة:

تكون فيها طبقة القاعدة مصنوعة من مادة عازلة صلبة.

2. الدارات المطبوعة المرنة:

تكون فيها طبقة القاعدة مصنوعة من مادة عازلة مرنة.

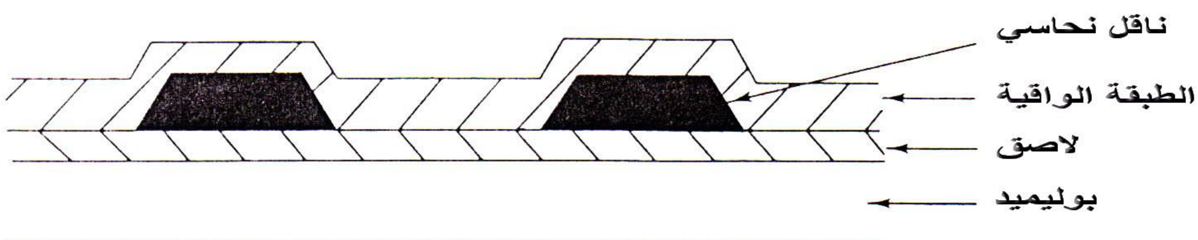
الدارات المطبوعة المرنة هي دارات مطبوعة ذات سماكة قليلة وخفيفة الوزن ومتينة، وهي أكثر مقاومة للصدمة والإهتزاز من الدارات المطبوعة الصلبة، إذ أنها مُصممة لتحمل مجال واسع من درجة الحرارة وتحمل ظروف بيئية قصوى، وتُستخدم عندما تكون كثافة الدارة عالية ومن أجل التطبيقات الديناميكية وظروف الإهتزاز، كثافتها العالية

ووزنها الخفيف يجعلها مناسبة بشكل مثالي للإستخدام في تطبيقات إستراتيجية هامة مثل التطبيقات العسكرية والأقمار الاصطناعية والحساسات العلمية المتقدمة والتجهيزات الطبية والروبوتات وأنظمة الأمن [3].

1.6.3. الدارات المطبوعة المرنة:

1.6.3.1. تصنيع الدارات المطبوعة المرنة:

تتألف الدارة المطبوعة المرنة من مادة عازلة كهربائياً (Polyimide) تعلوها طبقة من لاصق مهمتها تأمين ربط فعال للنواقل النحاسية التي تكون مغطاة بطبقة واقية لحمايتها من الأكسدة والتآكل، كما هو مُبين على الشكل 1.17.



الشكل (1.17) تركيب الدارة المطبوعة المرنة

يجب أن تملك الصفيحة العازلة المستخدمة في الدارة المرنة صفة المرونة وقابلية الثني دون أن تتكسر، وتُصنع الصفيحة العازلة من مواد مثل: البوليميد Polyimide والبوليستر Polyster والهيدروكاربون Hydrocarbon والبوليمير Polymers والأراميد Aramid والفلوروكاربون Fluorocarbon.

والمادة الأكثر إستخداماً في الدارات المطبوعة المرنة هي البوليميد لأنها تملك مميزات كهربائية وحرارية وكيميائية مفضلة، وتستطيع مادة البوليميد مقاومة درجات الحرارة العالية أثناء التلحيم وتُستخدم هذه المادة كعازل في المحركات والمحولات، وطبقة البوليميد المستخدمة في الدارات المرنة تكون من نوع Kapton وهي علامة تجارية من شركة DuPont G , USA [3].

يملك مزيج Kapton والأكريليك مجال درجة حرارة 65 – 150 °C، وتُستخدم طبقة عازلة بوليميد Kapton من نوع H في التطبيقات التي تتطلب درجة حرارة عمل في مجال 269 – 400°C، وتُوجد عدة أنواع من المادة العازلة من نوع Kapton مثل ‘’ XT ‘’ Kapton، وتكون طبقات البوليميد متاحة في سماكة قياسية (0.0125 , 0.025 , 0.050 , 0.075 , 0.125 mm)، والسبب الرئيسي للإستخدام الشائع لطبقة البوليميد هو مقاومتها العالية لدرجة حرارة التلحيم اليدوي والآلي.

يُبين الجدول 1.5 مميزات طبقات البوليميد [3].

Apical	Kapton – H	Upilex – S	الخاصية ، الوحدات
1.42	1.42	1.47	الكثافة، g/mc^3
35000	25000	56800	قوة الشد، isp
95	75	30	التمدد، %
460000	430000	1280000	معامل الشد، isp
94 VTM-0	94 VTM-0	94 VTM-0	قابلية الاشتعال
3.0	3.0	1.2	امتصاص الرطوبة، %
~380	380	0.8	نفاذية الأكسجين، $ml/m^2/mil$
~84	84	1.7	نفاذية الرطوبة، g/m^2
7800	7000	6800	قوة العزل الكهربائي، V/mil
3.4	3.5	3.5	ثابت العزل الكهربائي
0.0014	0.0025	0.0013	عامل التبدد
$3 X 10^{11}$	$1 X 10^{12}$	$1 X 10^{11}$	مقاومة الحجم، MΩ - cm

الجدول (1.5) مميزات طبقة البوليميد

تمتص بعض طبقات البوليميد مقداراً من الرطوبة، لذا قبل تعريض الصفيحة العازلة لدرجة حرارة التلحيم يجب أن تُحفظ على الأقل لمدة ساعة في درجة حرارة 100°C.

<u>البوليستر:</u>

طبقات البوليستر العازلة كهربائياً هي مشابهة ميكانيكياً للطبقات العازلة من نوع بوليميد لكنها أفضل كهربائياَ، وتمتص رطوبة بمقدار أقل منه في الطبقات العازلة من نوع بوليميد، لكنها لا تبدي مقاومة عالية لحرارة التلحيم كما هو الحال في طبقات البوليميد، حيث تُستخدم طبقات البوليستر كصفيحة عازلة مع درجة حرارة عظمى تكون أقل من 125 °C [3].

من مزايا طبقة البوليستر كصفيحة عازلة تخفيض تكلفة إنتاج الدارة دون تغيير في وظائفها، وتُستخدم عادة في الدارات الآلية وأنظمة الإتصالات، ومقارنة مع البوليميد يملك البوليستر ثابت عزل كهربائي أخفض وكلفة أقل ويملك مقاومة شد عالية (25000 Psi) وقوة عزل كهربائية عالية 7.5 KV X 10 في 0.0254 mm.

من مواد البوليستر الأكثر شيوعاً ‘‘ Mylar ‘‘ وهو إسم تجاري مُنتج بواسطة M/s DuPont , USA، ومجال درجة الحرارة لطبقة البوليستر الذي هو 75 – 150 °C يجعلها غير مناسبة لدرجة حرارة التلحيم فوق 230 °C [3].

الأراميد:

مواد الأراميد هي مواد عازلة رخيصة تُستخدم في درجة حرارة 220 °C، وتُشكل هذه المواد صفيحة مرنة جداً، ومثل طبقات البوليميد فإن طبقات الأراميد يجب أن تكون جافة قبل تعريضها لدرجة حرارة التلحيم.

من مواد الأراميد الشائعة '' Nomex '' وهي علامة تجارية لشركة M/s DuPont , USA، وNomex هو ورق ذو درجة حرارة عالية يستطيع مقاومة درجات حرارة التلحيم جيداً [3].

الفلوروكربون:

يعتبر الفلوروكربون مثالياً لأجل الدارات المرنة ويملك خواص ميكانيكية متينة، ويُستخدم مع درجات حرارة مرغوبة (قرب 300°C) ويملك خواص عزل كهربائية عالية، ويُعطي الجدول 1.6 مميزات طبقات البوليستر، الفلوروكربون، والأراميد [3].

الخاصية	بوليستر	فلوروكاربون FEP	أراميد DuPont 410
قوة الشد: K psi	20-40	2.5-3	6-10
التمدد: %	60-165	300	9
قوة الترشيح: g./mil	50-130	125	550
إعادة التدوير	50-300	1255	45-80
إمتصاص الرطوبة: %	0.25	<0.01	3-7
نفاذية الرطوبة: g-mil/100 sq.in./24 hrs	1-1.3	0.4	NA
قوة العزل الكهربائي: V/mi , 1 mil	7500	6500	530
ثابت العزل الكهربائي: 1 kHz – 1 GHz	3.2-2.8	2.0-2.05	2.3
عامل التبدد ، 1 Hz – 1 GHz	0.003-0.016	0.0003-0.0015	0.007
المقاومة الكيميائية	جيدة	ممتازة	جيدة

الجدول (1.6) مميزات طبقات البوليستر، الفلوروكربون، والأراميد

1.7. تلحيم العناصر وتثبيتها على الدارة المطبوعة:

التلحيم هو عملية ربط أجزاء معدنية مع بعض باستخدام نوع من خلائط معدنية قابلة للإنصهار تُصهر في درجة حرارة أخفض من درجة حرارة صهر المواد المعدنية الملحومة، وتتم عملية الإتصال بين الأجزاء المعدنية الملحومة دون أن تُصهر هذه الأجزاء [1].

ويُمكن تصنيف التلحيم الى نوعين:

1. تلحيم ناعم Soft Soldering.

2. تلحيم قاسي Hard Soldering or Brazing.

1.7.1. التلحيم الناعم:

وفيه يتم تطبيق درجات حرارة أخفض من 450 ℃ في وصلة التلحيم.

1.7.2. التلحيم القاسي:

وفيه يتم تطبيق درجات حرارة أعلى من 450 ℃ في وصلة التلحيم، ويُستخدم عادة عندما تضم خلائط التلحيم معادن مثل الفضة، الذهب، الحديد، البرونز، حيث تكون وصلة التلحيم أقوى منها في التلحيم الناعم بمقدار 20 إلى 30 مرة، وبشكل عام فإن عملية التلحيم هي صهر معدن لحام ووضعه داخل ثقب بين معدنين صلبين ناعمين قريبين لتأمين الاتصال الكهربائي بينهما [4].

ويتم التلحيم عادة بين:

1. أرجل العناصر الإلكترونية والنواقل النحاسية عبر ثقوب تُحفر في الدارة المطبوعة (PTH).

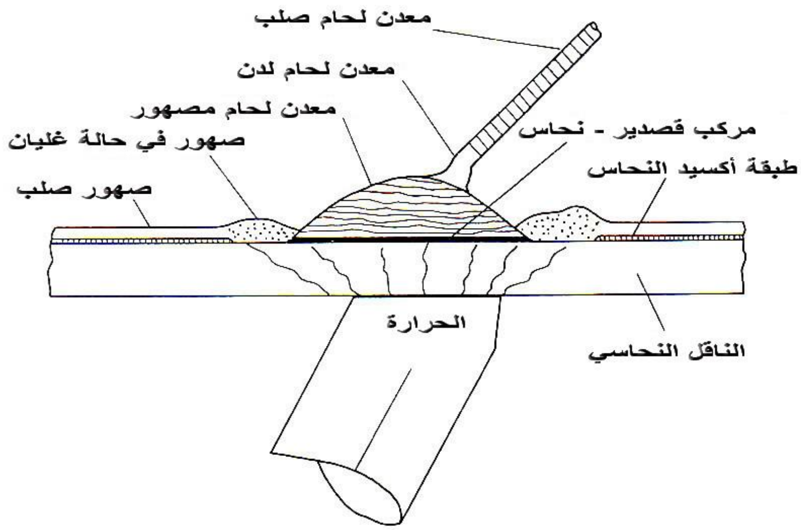
2. أرجل العناصر الإلكترونية وأسلاك توصيل Jumpers التي تصل بين العناصر (n–PTH).

3. أرجل العناصر الإلكترونية والنواقل النحاسية المطبوعة على سطح الدارة المطبوعة في حالة العناصر ذات تجميع المباشر على سطح الدارة المطبوعة (SMDs).

وفي كل هذه الحالات نلاحظ الآتي:

عندما يتعرض سطح الناقل النحاسي الذي ينقل التيار الكهربائي للأوكسجين الموجود في الجو تحدث عملية أكسدة تؤدي إلى تشكل طبقة من أكسيد النحاس العازل تُزيد من المقاومة الكهربائية، وهو ما يؤثر على الإتصال الكهربائي بين الناقل النحاسي والعنصر الملحوم معه [1].

لذا تُستخدم في عملية التلحيم مادة تُدعى الصهور Flux وتكون سائلة أثناء التلحيم، وتُطبق مادة الصهور قبل التلحيم حيث تقوم هذه المادة بالتفاعل كيميائياً مع طبقة الأوكسيد المتشكلة على سطح المعدن الناقل وتقوم بإزالتها ليصبح سطح الناقل النحاسي نظيفاً وجاهزاً للتلحيم مع العنصر، كما تعمل مادة الصهور على تشكيل طبقة واقية لسطح المعدن لمنعها من التأكسد، ويُبين الشكل 1.18 تطبيق مادة الصهور إلى سطح الناقل النحاسي [1].



الشكل (1.18) تطبيق مادة الصهور إلى سطح الناقل النحاسي

<u>تقوم مادة الصهور أثناء التلحيم بالوظائف الثلاث التالية:</u>

1. إزالة طبقة الأكسدة المتشكلة على سطح المعدن الناقل النحاسي.

2. تشكيل طبقة واقية لسطح المعدن لمنع تعرضه للأوكسجين أثناء عملية التلحيم وبالتالي لمنع تأكسده.

3. المساعدة على نقل الحرارة بين معدن اللحام والمعدن النحاسي الناقل، حيث تُطبق مادة الصهور بين طبقتين: طبقة معدن اللحام وطبقة المعدن الناقل النحاسي.

1.7.3. أنواع مادة الصهور:

تصنف مادة الصهور Flux إلى ثلاث مجموعات:

1. الصهور الآكلة Corrosive Fluxes.

2. الصهور المتوسطة Intermediate Fluxes.

3. الصهور غير الآكلة Non Corrosive Fluxes.

1.7.3.1. الصهور الآكلة:

المقوم الأساس في الصهور الآكلة هو كلور الزنك وكلور الأمونيوم وكلور الصوديوم، ويُبين الجدول 1.7 مركبات من مادة الصهور الآكلة ودرجة صهر كل منها [1].

درجة حرارة الصهر	التركيب (الوزن %)
232 ℃	87 % ZnCl2 / 13 % NH4Cl
180 ℃	73 % ZnCl2 / 27 % NH4Cl
262 ℃	82 % ZnCl2 / 18 % NaCl
171 ℃	23 % ZnCl2 / 77 % SnCl2

الجدول (1.7) أنواع مادة الصهور الآكلة

1.7.3.2. الصهور المتوسطة:

تكون عادة ضعيفة إذا ما قُورنت مع الصهور غير العضوية وتتألف من حوامض عضوية مثل الهيدروهاليدات وتكون فعالة في درجة حرارة التلحيم لكن درجة فعاليتها قصيرة لأنها تكون متطايرة أو مؤكسدة [1].

من مواد الصهور المتوسطة:

1. حمض الأكتيك Actic Acid.
2. حمض الأوليك Oleic Acid.
3. حمض الغلوتاميك Glutamic Acid.
4. حمض الستريك Stearic Acid.
5. حمض السوسينيك Succinic Acid.

1.7.3.3. الصهور غيرالآكلة:

هذا النوع من الصهور يُفضل أثناء تجميع العناصر الكهربائية والإلكترونية بسبب سهولة إزالة طبقة الصهور من سطح الدارة المطبوعة بعد إنتهاء عملية التلحيم.

ويتألف هذا النوع من الصهور من مادة الريتنج 25–20 % تُذاب في محلول الإيزوبروبونول لتشكيل مادة الصهور غير الآكلة، وتُستخرج مادة الريتنج من خشب الصنوبر، وبشكل عام فإن عملية التلحيم بين الناقل النحاسي والعنصر الإلكتروني تتم كما يلي [1]:

1. تنظيف أرجل العناصر والطبقات الخارجية للدارة التي تضم النواقل النحاسية من الغبار والأوساخ باستخدام فرشاة نظيفة.
2. تطبيق مادة الصهور Flux على سطح المعدن الناقل النحاسي لإزالة طبقة الأكسدة.

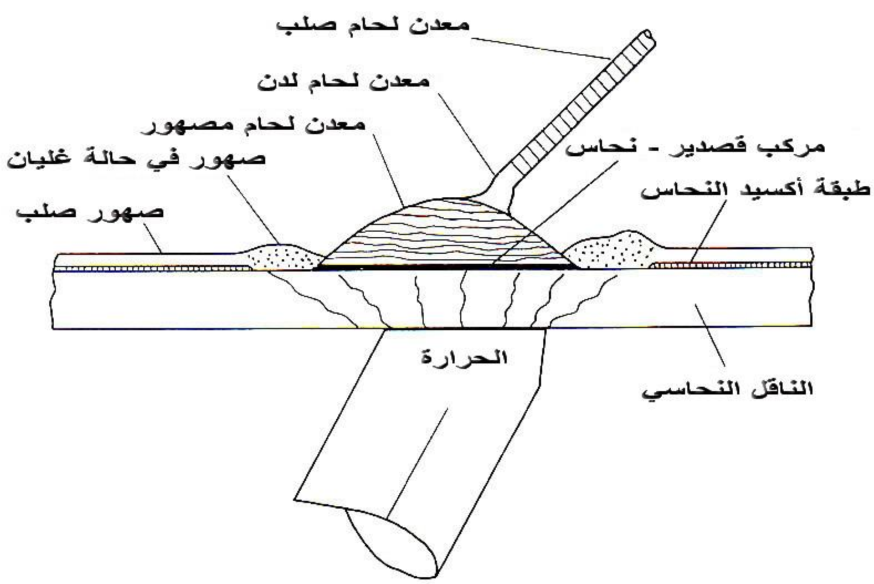
3. تطبيق معدن اللحام (مثلاً القصدير) وصهره على سطح الناقل النحاسي لتشكيل إرتباط معدني داخلي بين النحاس والقصدير.
4. تجهيز العناصر الإلكترونية قبل وضعها في أماكنها بثني وقطع أرجلها بالطول المناسب.
5. إدخال العنصر الإلكتروني في مكانه.
6. تطبيق درجة حرارة مناسبة لتأمين الصهر المناسب لمعدن اللحام بحيث يتشكل إرتباط فيزيائي بين أرجل العناصر ومعدن اللحام وسطح المعدن الناقل النحاسي.
7. تبريد وصلة اللحام حتى تصل إلى الحالة الصلبة.
8. إزالة بقايا التلحيم الزائدة في وصلة التلحيم.

عملية التلحيم هي عملية هامة جداً في تصنيع الدارات المطبوعة، ومن أجل الدارات المطبوعة المستخدمة في المجالات الإستراتيجية الهامة كالفضاء والدفاع والإلكترونيات الطبية وأنظمة التحكم بالمرور وأنظمة الاتصالات وأنظمة التحكم فإن كل هذه الأنظمة تعتمد على أن تكون وصلات التلحيم مناسبة.

<u>1.7.4. تطبيق معدن اللحام وصهره على سطح المعدن الناقل النحاسي:</u>

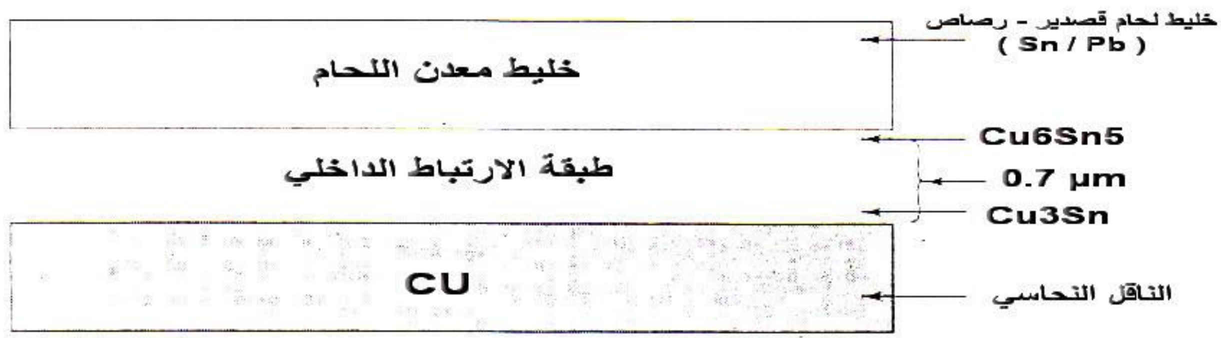
بعد أن تتم إزالة طبقة الأكسدة المتشكلة على سطح النحاس الناقل باستخدام مادة الصهور فإن سطح النحاس الناقل يُصبح نظيفاً وجاهزاً لعملية تطبيق معدن اللحام.

بتطبيق معدن اللحام على سطح النحاس الناقل يتشكل خليط معدني جديد بين معدن اللحام ومعدن النحاس الناقل، حيث يتشكل إرتباط معدني داخلي بين ذرات معدن اللحام وذرات معدن النحاس الناقل، كما هو مُبين على الشكل 1.19 [4].



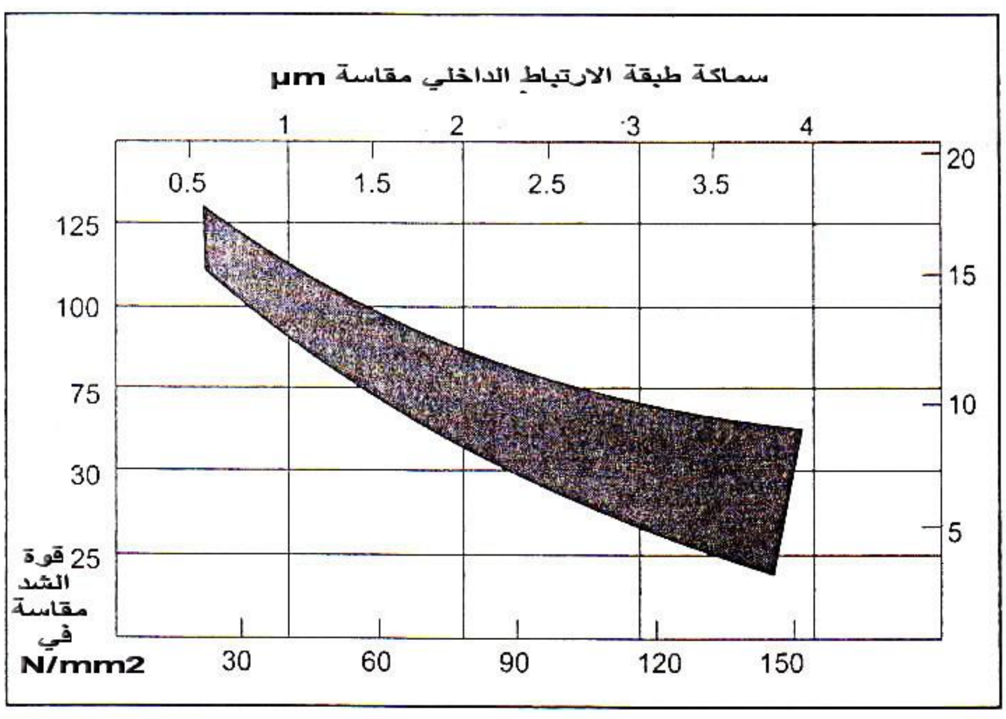
الشكل (1.19) تشكيل ارتباط معدني داخلي بين معدن اللحام و الناقل النحاسي

تتشكل طبقة من مركب قصدير النحاس Copper – Tin حيث تترابط ذات القصدير وذرات النحاس داخلياً فيما بينها، ويُبين الشكل 1.20 مكونات طبقة قصدير النحاس المتشكلة.



الشكل (1.20) تشكيل مركب قصدير النحاس

فمثلاً إذا كان معدن اللحام هو القصدير فإن القصدير والنحاس يُشكلان مادة الكريستالين، وتتشكل طبقة رقيقة من مرتبة 0.5 µm من Cu_6Sn_5 أو Cu_3Sn ، وكلما زادت سماكة طبقة الإرتباط المعدني قلت قوة وصلة التلحيم، لذا يجب أن تكون سماكتها أقل من 1µm، وتعتمد سماكة طبقة المركب الداخلي على درجة حرارة وصلة التلحيم وزمن تطبيقها، وبشكل مثالي يجب أن تُطبق درجة حرارة 220 °C لمدة ثانيتين، حيث أن التفاعل الكيميائي بين كل من النحاس والقصدير سيُنتج مقداراً أمثلياً 0.5 µm من طبقة الإرتباط الداخلي Cu_6Sn_5 أو Cu_3Sn ، وكلما زادت سماكة طبقة الإرتباط الداخلي قلت قوة المرونة لوصلة التلحيم، كما هو مُبين على الشكل 1.21 [1].



الشكل (1.21) العلاقة بين سماكة طبقة الارتباط الداخلي وقوة المرونة لوصلة التلحيم

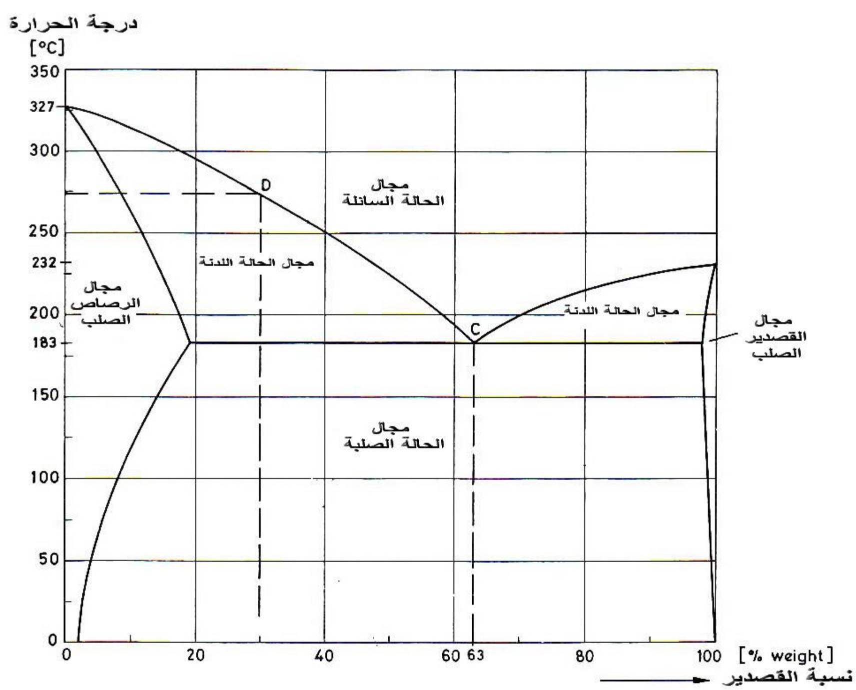
1.7.5. المعادن والخلائط المستخدمة كمعدن لحام مصهور:

تُستخدم عدة مواد معدن لحام مصهور وأكثر المواد استخداماً هو خليط قصدير– رصاص Sn/Pb، ويُبين الشكل 1.22 العلاقة بين نسبة مكونات معدن اللحام وبين درجة حرارة صهره.

إذا كان معدن اللحام هو الرصاص النقي فإنه يُصهر في درجة حرارة 327 °C، أما إذا كان معدن اللحام هو القصدير النقي فإنه يُصهر في درجة حرارة 232 °C.

في النقطة C تكون نسبة القصدير Sn: 63% والرصاص Pb: 37% وتكون درجة حرارة صهر الخليط Sn/Pb °C 183.

والنسبة الأكثر استخداماً في الالكترونيات لخليط قصدير– رصاص Sn/Pb هي 60% قصدير Sn و40% رصاص Pb ودرجة حرارة صهر الخليط تكون 190 °C، حيث يكون هذا الخليط في حالته الصلبة على شكل أسلاك رفيعة ذات أقطار من 0.25 mm إلى 1.25 mm [1].



الشكل (1.22) العلاقة بين نسبة مكونات معدن اللحام وبين درجة حرارة صهره

يُفضل أن تكون نسبة خليط قصدير– رصاص Sn/Pb هي 63% قصدير Sn و37% رصاص Pb وذلك لتمتعه بالفوائد الآتية:

1. يملك خليط Sn 60/Pb 40 درجة صهر أعلى من Sn 63/Pb 37 أي أن مجال التلحيم أعلى.
2. يتحول خليط Sn 63/Pb 37 أثناء التبريد بسرعة من السائل إلى الصلب.
3. قوة المرونة وقوة القص لخليط Sn 63/Pb 37 أقوى منها في خليط Sn 60/Pb 40.

4. فقط القصدير يُشكل إرتباط داخلي مع النحاس وبالتالي وجود القصدير بنسبة أعلى في خليط Sn 63/Pb 37 يعد أفضل فنياً.

5. جاذبية خليط Sn 63/Pb 37 تكون أقل منها في خليط Sn 60/Pb 40 وبالتالي تجعل الدارة أخف وزناً.

6. النسبة الأعلى لوجود القصدير في خليط Sn 63/Pb 37 تزيد الناقلية الكهربائية وتجعل وصلة التلحيم أكثر لمعاناً [1].

1.7.6. خلائط لحام أخرى:

نذكر من خلائط معادن اللحام الأخرى التي يُمكن استخدامها أيضاً في عملية التلحيم [4]:

1. خليط أنتيموني – رصاص – قصدير.

2. خليط قصدير– فضة: تكون فيه نسبة القصدير Sn: 96.5% ونسبة الفضة Ag: 3.5%، ودرجة حرارة صهر الخليط 221 ℃.

3. خليط قصدير– رصاص– فضة: نسبة القصدير Sn: 1% ونسبة الرصاص Pb: 97% ونسبة الفضة Ag: 2 % ويُستخدم عادة في درجات الحرارة المرتفعة.

4. خليط قصدير– زنك: نسبة القصدير Sn: 91.1% ونسبة الزنك Zn: 8.9% ودرجة حرارة صهر الخليط 198 ℃.

1.7.7. خلائط تلحيم ذات درجة صهر منخفضة:

نذكر من هذه الخلائط الخليط المؤلف من قصدير ورصاص وكادميوم حيث تكون نسبة القصدير Sn: 50% ونسبة الرصاص Pb: 32% ونسبة الكادميوم Ca: 18%، ويُصهر الخليط في درجة حرارة 142 ℃، وأيضاً يُوجد خليط يُصهر في درجة حرارة 70 ℃ وهو خليط رباعي مؤلف من القصدير Sn: 12.5% والرصاص Pb: 25% والبزموت Bi: 50% والكادميوم Ca: 12.5% [1].

1.8. إعتبارات عامة لتصميم الدارة المطبوعة:

عند تصميم الدارة المطبوعة PCB يجب أن تُراعى إعتبارات التصميم الميكانيكية والكهربائية والبيئية.

1.8.1. إعتبارات تصميم ميكانيكية:

تتضمن هذه الإعتبارات:

1. حجم الدارة المطبوعة.

2. حجم ثقوب الدارة المطبوعة.

3. سماكة الدارة المطبوعة.

4. مواقع توضع العناصر على الدارة المطبوعة.

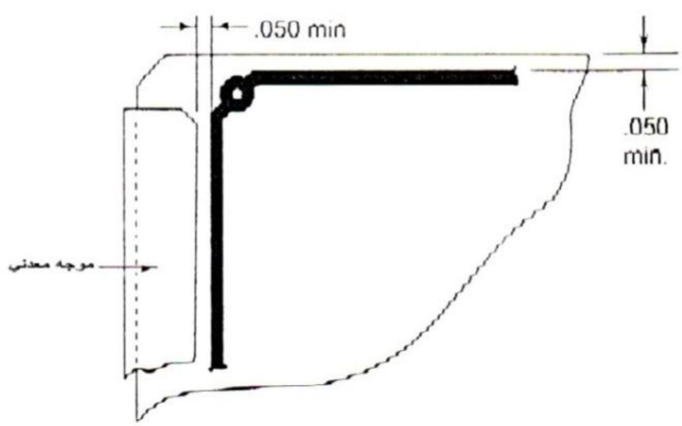
5. تثبيت الدارة المطبوعة.

1.8.1.1. حجم الدارة المطبوعة:

بشكل عام لا يوجد مقياس موحد لحجم الدارة المطبوعة، وحجم الدارة يجب ألا يكون كبيراً جداً (لأنها تتطلب مساحة أكبر وتُؤدي الى إضطرابات وظيفية عديدة) ولا صغيراً جداً (لأنها تتطلب كلفة أعلى وتُنتج عدم وثوقية التوصيلات الداخلية بين العناصر).

عند تصميم مخطط الدارة المطبوعة يجب إضافة مساحة إحتمالية في حجم الدارة وتكون عادة بين +0.25 mm و +0.5 mm، وهذا عامل مهم لأنه عندما يُوجد ناقل نحاسي يحمل تيار قريب بمقدار 1 mm من حافة الدارة فإنه عملياً ومع أخذ الإحتمال يبعد 0.5 mm عن حافة الدارة وهذا يُعتبر غير مرغوب لأن قطع جزء من الدارة يُمكن أن يُؤدي إلى تضرر الدارة، كما يجب وجود منطقة أمان 2 – 5 mm على طول حواف الدارة لأن قطع جزء من الدارة يُمكن أن يجعل النحاس الناقل قريب من حافة الدارة [5].

يجب ألا تكون المسارات الناقلة النحاسية قريبة جداً من حافة الدارة، أي يجب أن لا تكون في مسافة أقرب من 1.25 mm من حافة الدارة في مقياس 1:1، ويجب على الأقل ترك مسافة 2.5 mm من حافة الدارة، حيث يُستخدم كارت توجيه معدني على حافة الدارة ويترك فراغ هوائي بمسافة 1.25 mm، كما هو مُبين على الشكل 1.23 [5].

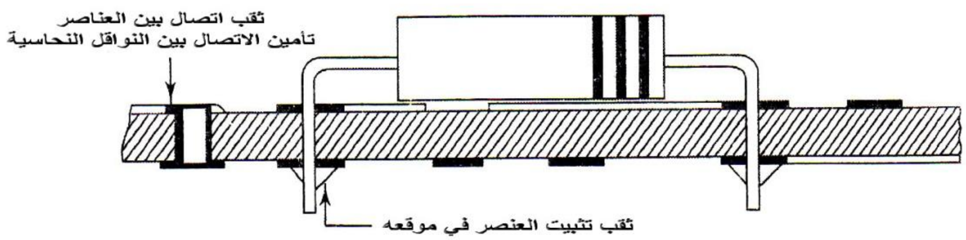


الشكل (1.23) الحدود الخارجية للدارة

ويُفضل في تصميم الدارة المطبوعة أن تُجزئ الدارة المطبوعة الكبيرة إلى مراحل، وكل مرحلة تُشكل دارة مطبوعة صغيرة، وبالتالي يُمكن وضع الدارة المطبوعة الصغيرة ضمن اللوحة الأم ونزعها بسهولة، وهذا هام لأنه يجعل من السهل فحص وصيانة الدارة وتبديل الدارة المطبوعة الصغيرة بدارة مطبوعة أخرى إذا كانت الدارة مصنعة بكثرة.

1.8.1.2. حجم ثقوب الدارة المطبوعة:

يُعد تحديد حجم الثقوب في الدارة المطبوعة أمر مهم خصوصاً إذا كان تجميع العناصر الالكترونية على الدارة المطبوعة يستخدم تقنية التوصيل عبر ثقوب اتصال PTH (Plated Through Holes)، كما في الشكل 1.24.



الشكل (1.24) تجميع العناصر الإلكترونية على الدارة المطبوعة باستخدام ثقوب اتصال PTH

القطر المفضل للثقب هو 3.175 mm ويجب أن توجد منطقة أمان Safety Area حول الثقب لمنع التداخل بين النواقل النحاسية أثناء عملية التلحيم، ويُبين الشكل 1.25 الأبعاد القياسية للثقوب وعرض الناقل [3].



الشكل (1.25) الأبعاد القياسية للثقوب وعرض الناقل

إذا كان عرض الناقل النحاسي 0.5 mm فإن قطر الثقب يجب أن يكون 0.8 mm، وهذه الأبعاد تُعتبر مقياس لكل من عرض الناقل وقطر الثقب.

1.8.1.3. سماكة الدارة المطبوعة:

لا يوجد مقياس لسماكة الدارة المطبوعة، وعادة تعتمد سماكة الدارة المطبوعة على عدد الطبقات المؤلفة لها، ومُضاعفة عدد طبقات الدارة لا يزيد كلفة تصنيعها مباشرة، فمثلاً زيادة عدد طبقات دارة مطبوعة من 4 إلى 8 طبقات سيزيد كلفتها فقط بنسبة 30%، وبشكل عام تكون سماكة الدارات المطبوعة بين 0.5 mm إلى 6.5 mm، لكن مُعظم الدارات المطبوعة الصلبة تكون سماكتها 1.5 mm [6].

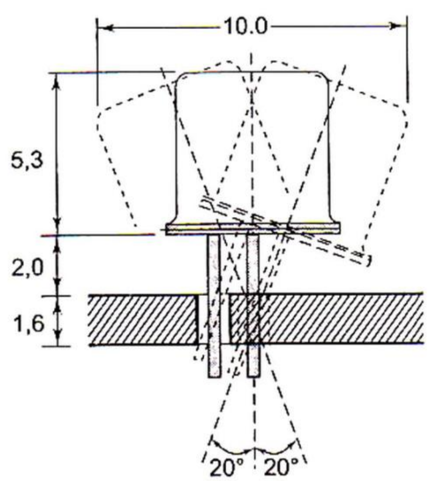
1.8.1.4. مواقع توضع العناصر على الدارة المطبوعة:

كل عنصر يتم تجميعه على الدارة المطبوعة له مساحة، وبجمع هذه المساحات نحصل على منطقة العنصر على الدارة المطبوعة، ولتحديد مواقع توضع العناصر يجب تدريج الدارة المطبوعة واستخدام مقياس تخطيط الدارة.

قواعد توضع العناصر:

1. في الدارة شديدة الحساسية، تُوضع العناصر الهامة أولاً وبطريقة تُؤمن أقل طول لنواقلها.
2. في الدارات العادية تُرتب العناصر حسب ترتيب مرور الإشارة وهو ما يُقلل الطول الكلي للنواقل.
3. العناصر التي تتطلب نقاط توصيل أكثر من غيرها تُوضع أولاً والعناصر الباقية تُجمع حولها.
4. تُوضع أولاً العناصر الثابتة مثل الواصلات، ثم تُوضع العناصر المتصلة مع العناصر الثابتة.
5. العناصر كبيرة الحجم تُوضع أولاً والفراغ بينها يُملأ بالعناصر صغيرة الحجم.
6. سماكة وصلة التلحيم يجب ألا تزيد على 0.05 mm.

عند وضع رجل العنصر في الثقب فإن إنحراف العنصر يجب أن يكون ضمن زاوية 15 °، ويمكن أن تزيد إلى 20 ° أو 30 °، ويُبين الشكل 1.26 زوايا مختلفة لأرجل ترانزستور من نوع TO–18 [5].

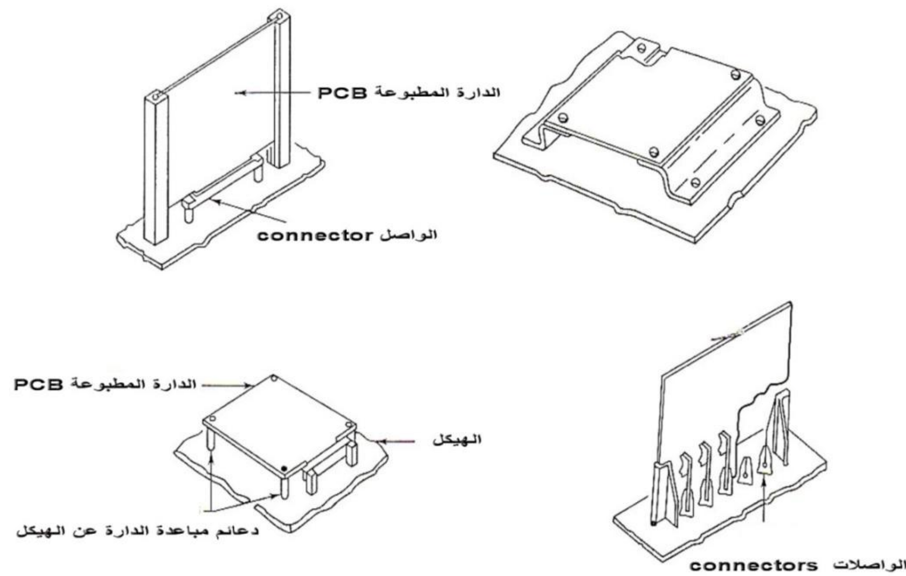


الشكل (1.26) زوايا مختلفة لأرجل ترانزستور من نوع TO–18

1.8.1.5. تثبيت الدارة:

يتم تثبيت الدارة عادة إلى هيكل معدني، وتُعطى منطقة إضافية 25 mm على حواف الدارة لتأمين منطقة تثبيت الدارة المطبوعة. الوضعية المريحة لتثبيت الدارة المطبوعة هي عند استخدامها كبطاقة وهي تُؤمن فصل ووصل سريع مع

اللوحة الأم، أما في الدارات المطبوعة التي لا تكون على شكل بطاقة فيتم تثبيتها باستخدام دعائم ومثبتات وهو ما يُؤمن ثبات الدارة المطبوعة، كما هو مُبين على الشكل 1.27 [5].



الشكل (1.27) تثبيت الدارة المطبوعة

1.8.2. إعتبارات كهربائية:

تتضمن الإعتبارات الكهربائية لتصميم مخطط الدارة المطبوعة:

1. مقاومة النواقل النحاسية.
2. السعة في النواقل النحاسية.
3. التحريض في النواقل النحاسية.
4. المسافة بين النواقل.
5. حدود الناقل.
6. خطوط التغذية والتأريض.

1.8.2.1. مقاومة النواقل النحاسية:

النواقل النحاسية هي خطوط رفيعة من النحاس تنقل التيار الكهربائي وإشارات التحكم بين العناصر، فهي تُؤمن الإتصال الكهربائي الداخلي للدارة [4].

في النواقل النحاسية وعند مرور تيار في ناقل نحاسي فإنه تُوجد مقاومة محدودة Resistance مُتناسبة مع مرور التيار في الناقل، وتُحسب مقاومة الناقل R بالعلاقة:

$$R = \frac{\rho \times L}{A}$$

R: مقاومة الناقل.

ρ : المقاومة النوعية وهي $(1.724\ X\ 10^{-6}\ \ \Omega\ cm)$ للنحاس عند درجة حرارة $20\ ^\circ C$ و$(1.78\ X\ \ 10^{-6}\ \Omega\ cm)$ عند درجة حرارة $25\ ^\circ C$.

L: طول الناقل (cm).

A: مساحة منطقة الناقل (cm^2).

إذا كان لدينا ناقل نحاسي طوله 1 cm وعرضه 1 mm وسماكته 35 µm فإن مقاومته عند $25\ ^\circ C$:

$$R = \frac{\rho \times L}{A} = \frac{1.724 \times 10^{-6} \times 1}{35 \times 10^{-4} \times 0.1} = 5\ m\Omega$$

تُعتبر سماكة ناقل النحاس عادة 35 µm، وحسب قانون جول كلما مر تيار في ناقل تزداد درجة حرارة الناقل، وعندما تزداد درجة حرارة الناقل تزداد مقاومته النوعية، حيث تكون المقاومة النوعية $1.724\ X\ 10^{-6}\ \Omega cm$ عند $20^\circ C$ وتزداد إلى $1.78\ X\ 10^{-6}\ \ \Omega\ cm$ عند $25\ ^\circ C$ وبإزدياد المقاومة النوعية ρ تزداد مقاومة الناقل R.

وتُحسب مقاومة الناقل عند تغير درجة حرارة الناقل بالعلاقة [4]:

$$Rt = Ro \times [\,1 + \propto\ (Tt - To)]$$

Rt: مقاومة الناقل عند درجة الحرارة Tt.

Ro: مقاومة الناقل عند درجة الحرارة To.

α: معامل الحرارة α = 0.0039.

إذا كانت درجة الحرارة داخل الجهاز الإلكتروني 80°C وخارجه 20°C وحيث أن معامل الحرارة α = 0.0039 فإنه:

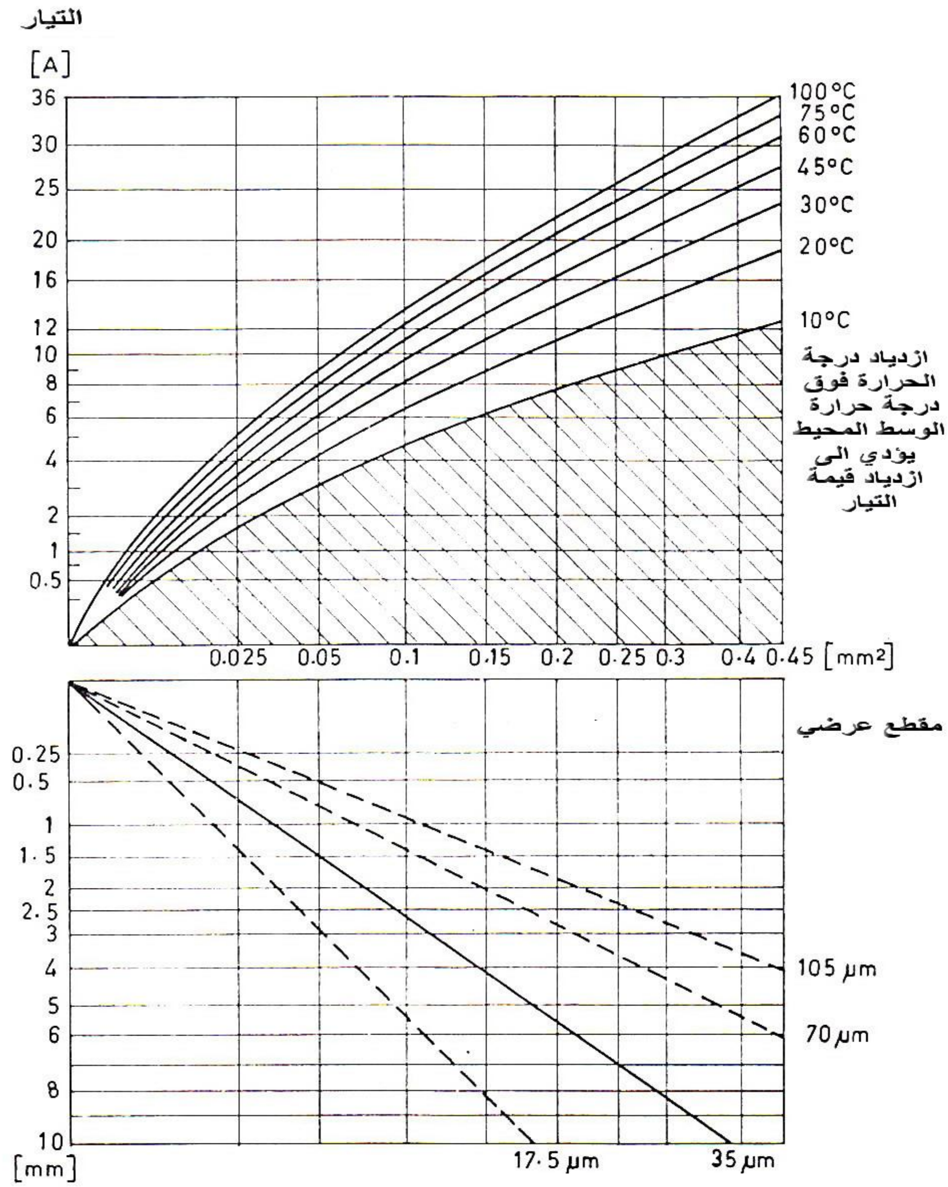
إذا كان عرض الناقل 0.5 mm وطوله 10 cm ومقاومته 100 mΩ عند درجة الحرارة $20\ ^\circ C$، فإن المقاومة عند درجة الحرارة $Rt = 80\ ^\circ C$:

$$Rt = Ro \times [\,1 + \propto\ (Tt - To)]$$

$$Rt = 100 \times [\,1 + 0.0039\,(80 - 20)] = 123.4\ m\,\Omega$$

أي أن المقاومة تزداد من 100 mΩ إلى 123.4 m Ω أي بمقدار % 23.4.

مقاومة الناقل النحاسية تُحدد عرض الناقل الذي يجب اختياره، ويُبين الشكل 1.28 كيفية اختيار عرض الناقل اعتماداً على مقاومته [4].

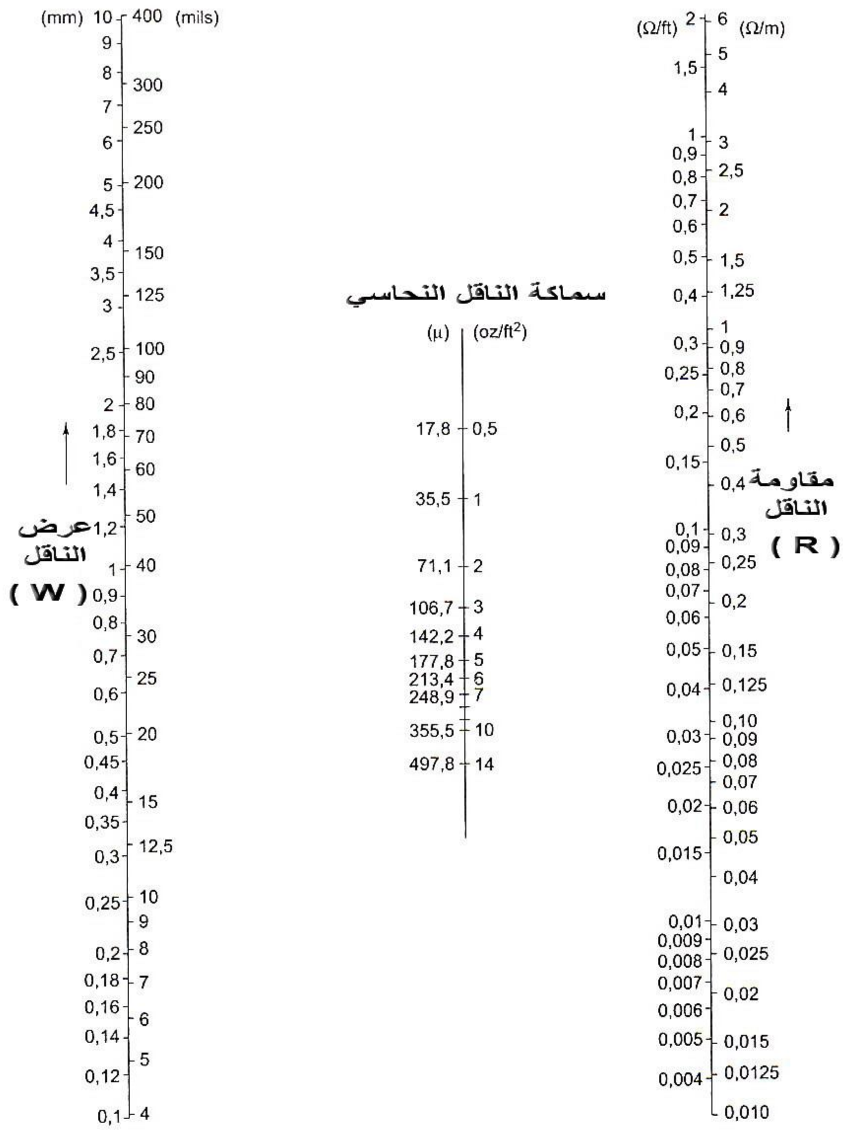


الشكل (1.28) كيفية إختيار عرض الناقل إعتماداً على مقاومته

لاختيار عرض ناقل يحمل تيار 8 A على دارة سماكتها 35 µm في درجة حرارة الغرفة 30 °C، تتم العملية كما يلي:

1. نُوجد القيمة 8 A على يسار المخطط في الشكل 1.84.
2. نتبع خط القيمة 8 A حتى نصل إلى منحني درجة الحرارة 30 °C.
3. نتبع الخط العمودي من تلك النقطة إلى الأسفل لنجد منحني سماكة الدارة 35 µm.
4. نرسم خط أفقي إلى اليسار لنجد أن قيمة عرض الناقل هي 2.6 mm.

يُمكن أيضاً معرفة مقاومة الناقل عندما يكون عرض الناقل معلوماً وسماكة الناقل معلومة، والشكل 1.29 يُبين مخطط إيجاد مقاومة الناقل اعتماداً على عرضه وسماكته، كما يمكن إستخدام نفس المخطط لمعرفة سماكة الناقل عندما يكون عرضه ومقاومته معلومان [11].



الشكل (1.29) مخطط إيجاد مقاومة الناقل اعتماداً على عرضه وسماكته

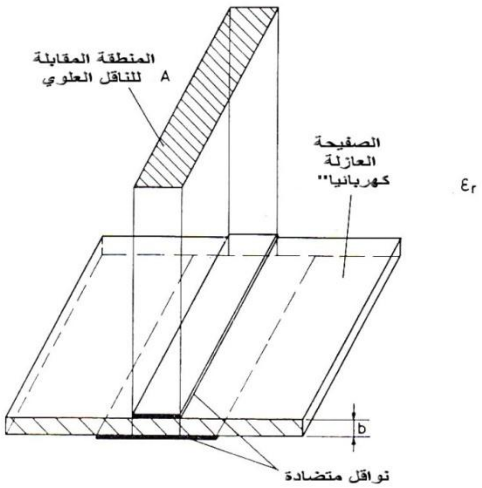
1.8.2.2. السعة في النواقل النحاسية:

تحديد السعة في النواقل النحاسية يتم في حالتان:

1. السعة بين النواقل المُتضادة (السعة بين الناقل في الطبقة العليا من الدارة والناقل في الطبقة السفلى).
2. السعة بين النواقل المُتجاورة الموجودة على نفس الطبقة.

1.8.2.3. السعة بين النواقل المُتضادة:

للدارة المطبوعة أحادية الطبقة طبقتان ناقلتان من النحاس، طبقة عليا وطبقة سفلى تفصل بينهما طبقة من مادة عازلة كما في الشكل 1.30.



الشكل (1.30) النواقل المُتضادة في الدارة المطبوعة

وتُحسب السعة بين الطبقتان المُتضادتان بالعلاقة [3]:

$$C = 0.886 \times \varepsilon \times \frac{A}{b} \ [\,PF\,]$$

A: مساحة سطح الناقل في الطبقة العليا (cm^2).

b: سماكة الطبقة العازلة (mm).

ε: ثابت يتناسب مع المادة العازلة.

ويُبين الجدول 1.8 قيم ثابت العزل الكهربائي ε من أجل مواد عازلة مختلفة [3].

الصفيحة العازلة (مقياس NEMA)	ثابت العزل الكهربائي εr
G-5	8.0
G-7	4.2
G-9	7.5
G-10	5.4
G-11	
FR-2	4.8
FR-3	
FR-4	5.4
FR-5	
XXXP	4.8
XXXPC	
GPO-1	4.4
GPO-2	

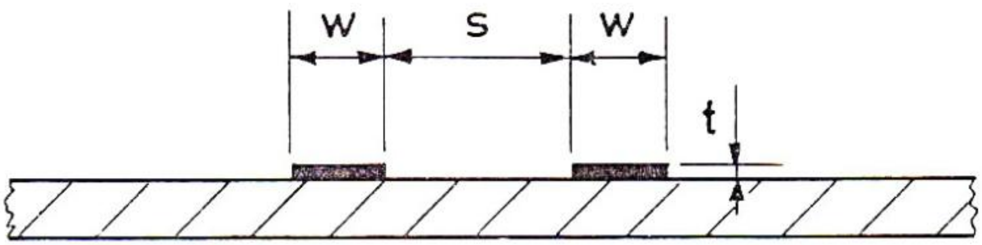
الجدول (1.8) قيم ثابت العزل الكهربائي ε من أجل مواد عازلة مختلفة

إذا كانت لدينا دارة مطبوعة أحادية الطبقة فيها طبقتان ناقلتان، الطبقة العليا فيها خط التغذية وعرضه 2 mm والطبقة السفلى فيها خط التأريض وعرضه 4 mm وطول الطبقتين 250 mm وسماكة الطبقة العازلة 1.6 mm والمادة العازلة من نوع G – 10 فإن السعة بين الطبقتان الناقلتان:

$$C = 0.886 \times \varepsilon \times \frac{A}{b} \ [\,PF\,] = 0.886 \times 5 \times 4 \times \frac{25 \times 0.2}{1.6} = 15 \ PF$$

<u>1.8.2.4. السعة بين النواقل المُتجاورة:</u>

ليكن لدينا ناقلان نحاسيان مُتجاوران على التفرع كما في الشكل 1.31.



الشكل (1.31) النواقل المُتجاورة في الدارة المطبوعة

w: عرض الناقل (mm).

s: المسافة الفاصلة بين الناقلين (mm).

t: سماكة الناقل.

Єr: معامل خاص بالمادة العازلة وهو من أجل مادة عازلة من نوع G – 10 يكون Є = 5.4 .

l: طول منطقة التوازي بين الناقلين (cm).

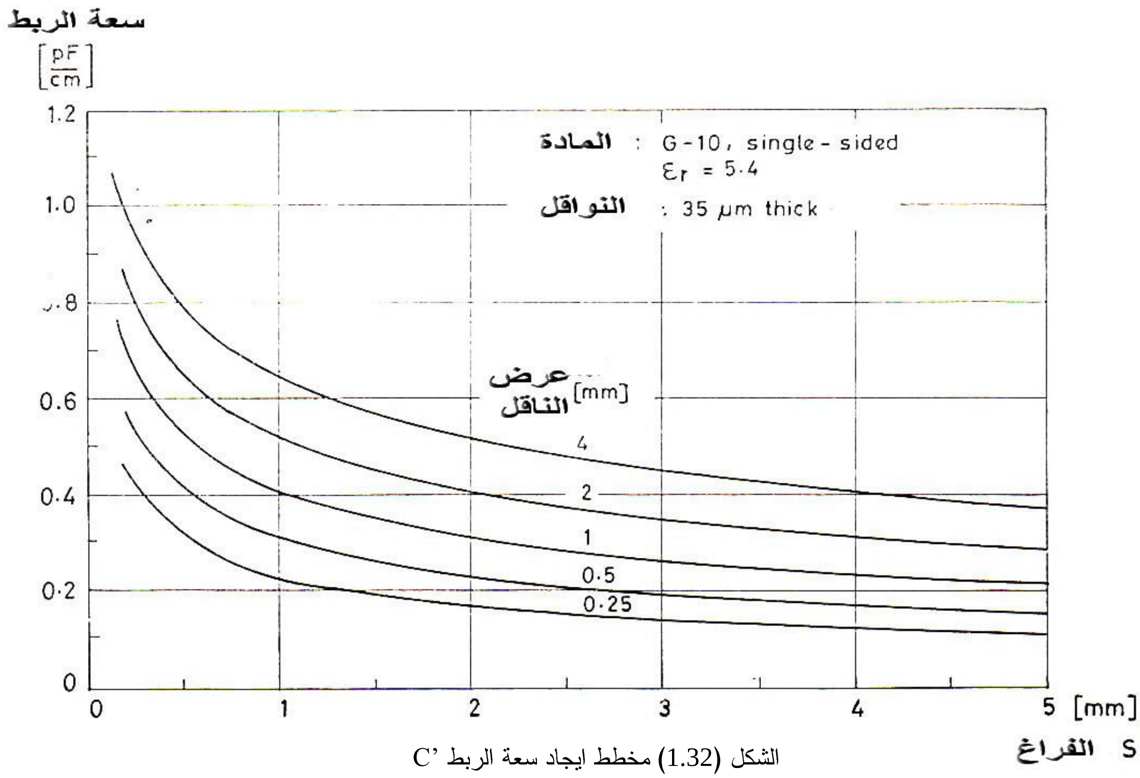
تحسب السعة بين النواقل المُتجاورة بالعلاقة:

$$C = C' \times l \ [PF]$$

C: السعة بين الناقلين.

l: طول منطقة التوازي بين الناقلين.

C’: نحصل عليها من المخطط في الشكل 1.32.



الشكل (1.32) مخطط ايجاد سعة الربط C’

إذا كان لدينا ناقلان مُتجاوران عرض كل منهما 1 mm وتفصل بينهما مسافة 1 mm وطول توازيهما 150 mm والمطلوب حساب السعة بينهما. w = 1 mm, s = 1 mm, l = 150 mm = 15 cm

<u>لإيجاد C’ من المخطط 1.32:</u>

1. نُوجد من المحور الأفقي القيمة 1 mm.
2. نتبع العمود إلى قيمة عرض الناقل 1 mm.
3. نرسم خط أفقي فنجد القيمة $C' = 0.4 \ \frac{[PF]}{cm}$، إذاً السعة بين الناقلين:

$$C = 0.4 \times 15 = 6 \ [\mathrm{PF}]$$

<u>1.8.2.5. التحريض في النواقل النحاسية:</u>

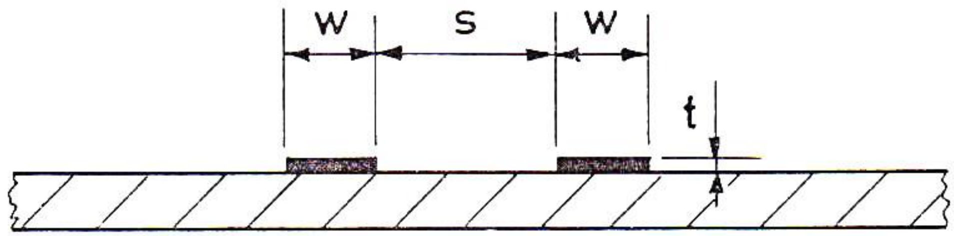
في الإشارات السريعة أو الدارات المنطقية عالية السرعة تُعتبر النواقل النحاسية كخطوط نقل، وما يميز هذه الخطوط هو المعامل Zw، ويكتب بالعلاقة [2]:

$$Zw = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \ \ [\Omega]$$

L’: التحريض في واحدة الطول.

C’: السعة في واحدة الطول.

ليكن لدينا ناقلان نحاسيان متجاوران يتوازيان على طول مسافة (cm) l كما في الشكل 1.33 وعرض كل منهما w (mm) والمسافة بينهما S (mm) وسماكتهما t (mm).



الشكل (1.33) التحريض بين النواقل المتجاورة

يُحسب التحريض بينهما بالعلاقة:

L = L’ X l

L : التحريض $[\mu H]$.

L’ : التحريض في واحدة الطول $\left[\frac{\mu H}{cm}\right]$ ونحصل عليه من المخطط في الشكل 1.34.

$$L' = 0.00921 \times \log\left(\frac{s+w}{t+w}\right) + 0.006 - 0.004 \times \left(m + \frac{s+w}{10 \times 1}\right) \left[\frac{\mu H}{cm}\right]$$

l: طول منطقة التوازي بين الناقلين (cm).

w: عرض الناقل (mm).

s: المسافة بين الناقلين (mm).

t: سماكة الناقلين (mm).

m: معامل يعتمد على $\left(\frac{w}{w+s}\right)$.

$$m = 0.0967 \times \left(\frac{w}{w+s}\right)^{2.082}$$

إذا كان لدينا ناقلان متوازيان عرض كل منهما w = 1 mm والمسافة بينهما s = 1 mm وطول منطقة التوازي بينهما l = 10 cm فإن التحريض بينهما: L = L’ X l

نُوجد L’ من المخطط 1.34 [2]:

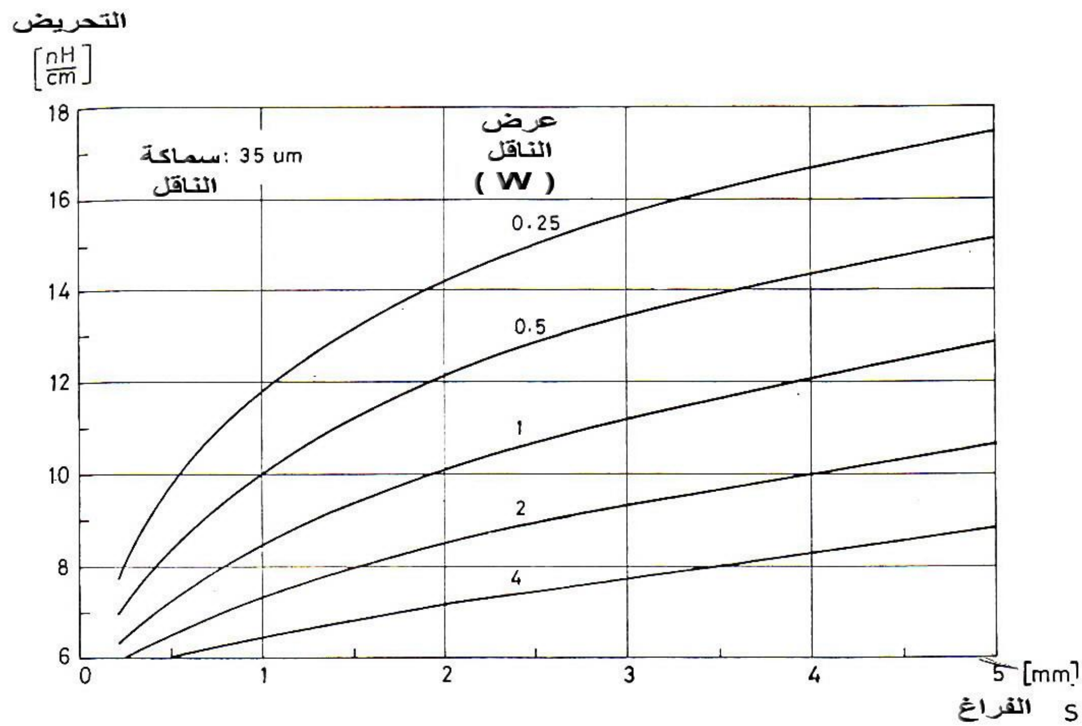
1. نُوجد من المحور الأفقي المسافة s = 1 mm.

2. نتبع الخط العمودي حتى نصل إلى عرض الناقلين w = 1 m.

3. نرسم خط أفقي فنجد أن التحريض في واحدة الطول: $L' = 8.5 \left[\frac{\mu H}{cm}\right]$

وبالتالي التحريض بين الناقلين:

$$L = 8.5 \text{ x } 10 = 85\ [\mu H]$$



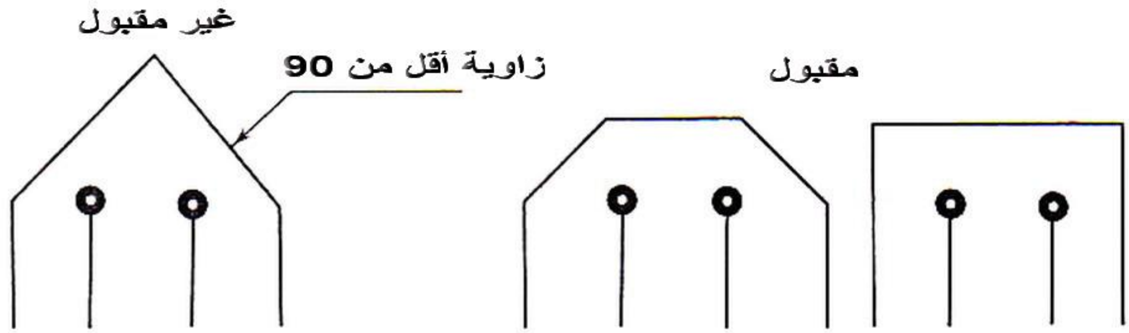
الشكل (1.34) مخطط ايجاد L’

1.8.2.6. المسافة بين النواقل:

تتحدد المسافة بين النواقل من خلال السعة والتحريض بينها، وعادة يُفضل زيادة المسافة بين النواقل لكي لا يحدث تداخل بين الإشارات أو التيارات المنقولة عبرها على ألا تكون المسافة بينها كبيرة جداً لكي لا تُزيد من حجم الدارة، وعادة يعتمد تصميم المسافة بين النواقل على جهد التغذية، حيث يكون البعد 2 mm عندما جهد التغذية يزيد على 30 V [11].

1.8.2.7. حدود الناقل:

يُفضل ألا تكون حدود الناقل ذات انحناءات بزاوية حادة لأنها قد تُؤدي إلى تصدع النواقل، ويُفضل أن تكون زاوية إنحناء الناقل كما في الشكل 1.35 [11].

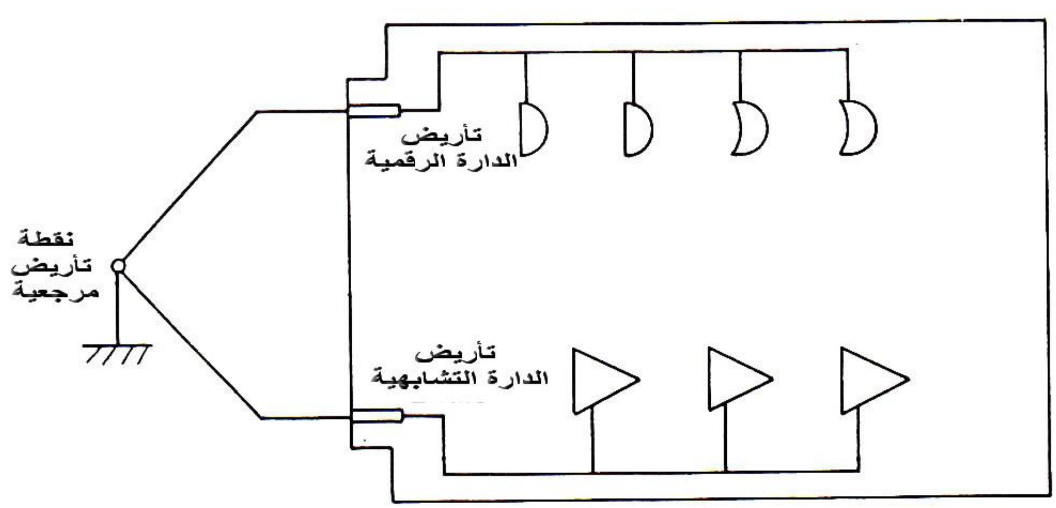


الشكل (1.35) حدود الناقل

1.8.2.8. نواقل التغذية والتأريض:

نواقل التغذية هي نواقل نحاسية على شكل خطوط رفيعة تكون متصلة مع منبع التغذية لتأمين جهد التغذية للدارة، بينما نواقل التأريض هي نوقل نحاسية على شكل خطوط رفيعة تكون متصلة مع نظام التأريض لتأمين تأريض في الدارة، وتكون نواقل التغذية عادة في الطبقة العليا من الدارة بينما تكون نواقل التأريض في الطبقة السفلى ، ويُفضل استخدام لوحة تغذية Supply Panel ولوحة تأريض Ground Panel تتصل بينها نواقل التغذية ونواقل التأريض.

كما يُفضل أن تكون نواقل التغذية ونواقل التأريض للدارات التشابهية مستقلة عن نواقل التغذية ونواقل التأريض للدارات الرقمية وكلاهما تتصلان مع لوحة التغذية ولوحة التأريض، وتكون عادة لوحة التغذية ولوحة التأريض في الطبقات الخارجية للدارة المطبوعة، كما هو مُبين على الشكل 1.36 [2].



الشكل (1.36) الفصل بين تغذية وتأريض الدارات التشابهية والرقمية

يتحدد عرض ناقل التغذية وعرض ناقل التأريض بالعلاقة:

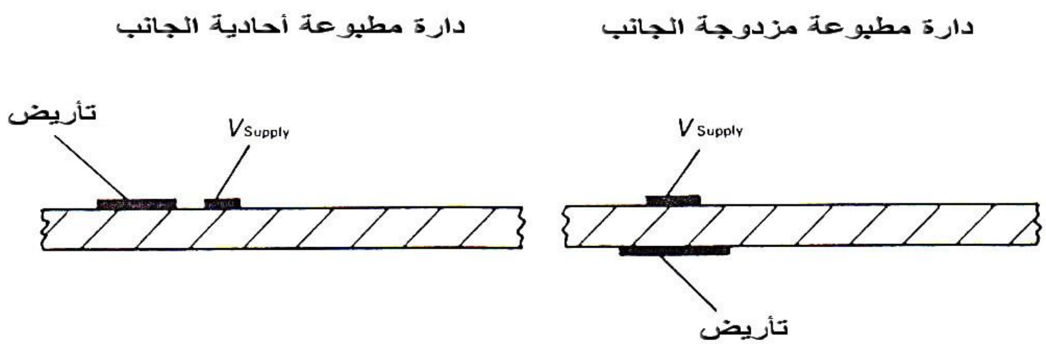
$$W\ ground > W\ supply > W\ signal$$

ولأجل دارة TTL يكون:

W ground $\geq$ 2 X W supply

W supply $\geq$ 2 X W signal

ويفصل عادة بين نواقل التغذية ونواقل التأريض بمادة عازلة لتجنب التداخل، كما في الشكل 1.37.



الشكل (1.37) الفصل بين نواقل التغذية ونواقل التأريض

1.8.2.9. التداخل بين اشارتين متجاورتين:

إذا كان ناقلي اشارة يجريان على التفرع من أجل طول يزيد على 10 cm (لأجل ECL)، 20 cm لأجل (TTL)، 50 cm (لأجل CMOS) فإنه سوف يتحرض قطار نبضات على الناقل المجاور، وفي دارات CMOS فإن التداخل يكون أقل خطراً بسبب مناعة الضجيج العالية لدارات CMOS، وتملك دارات ECL مناعة ضجيج أقل، وهي أكثر حساسية للتداخل من دارات TTL.

لتخفيض تأثير السعة والتحريض يتم تأمين فصل بين المسارات، وزيادة المسافة بين المسارات من أجل تخفيض التداخل بين الإشارات، ويحدث التداخل بين الإشارات المتجاورة في حالة التيار المتناوب AC فقط وليس في حالة التيار المستمر dc، و ينتج التداخل بين الإشارات إذا كان خط التأريض أو صفيحة التأريض في مسافة قريبة من خطوط الإشارة، ومشاكل التداخل يُمكن حلها بالمحافظة على الممانعة الموجية الملائمة لناقل الإشارة والتي تعتمد على عرض الناقل، وبالعكس فإن عرض الناقل يعتمد على الممانعة الموجية لناقل إشارة [6].

التداخل بين الإشارات يذهب في كلا الإتجاهين الأمامي والخلفي، ويكون التداخل الأمامي التحريضي والسعوي المشترك تقريباً مساو للتداخل العكسي ويكون محذوفاً.

يُستخدم البرنامج Ultra_ct لضبط التداخل بين الإشارات إلى القيم الدنيا من خلال التحكم بمجموعة من البارامترات وهي:

1. إرتفاع الناقل النحاسي عن سطح الدارة المطبوعة.

2. زمن الجبهة الصاعدة التي تسري في الناقل النحاسي.

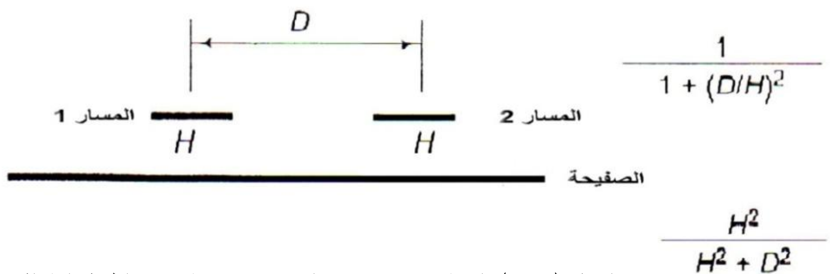
3. طول منطقة التوازي بين الناقلين النحاسيين الذين يسريان على التفرع.

4. ثابت العزل الكهربائي للطبقة العازلة.

5. البعد بين مركزي الناقلين النحاسيين الذين يسريان على التفرع.

نُميز حالتان:

أولاً: إذا كانت المسارات موجودة على نفس الإرتفاع من الطبقة العازلة كما هو مُبين على الشكل 1.38 فإن التداخل يكون مُتناسباً مع المقدار $\frac{H_2}{H^2+D^2}$ حيث H المسافة بين سطح الناقل والصفيحة و D المسافة بين الناقلين، وكلما إزداد الفراغ بين النواقل ينقص التداخل بين الإشارات [3].

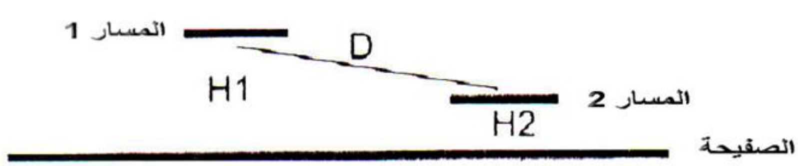


الشكل (1.38) المسارات موجودة على نفس الارتفاع من الطبقة العازلة

من خلال التحكم بالبارامترات H و D وثابت العزل الكهربائي Er وزمن الجبهة الصاعدة للإشارة وطول منطقة التوازي بين الناقلين يتم التحكم بمقدار التداخل بين الإشارات [3].

ثانياً: إذا كانت المسارات موجودة على إرتفاعات مختلفة من الطبقة العازلة كما هو مُبين على الشكل 1.39 فإن التداخل يكون مُتناسباً مع المقدار:

$$\frac{1}{1+\frac{D^2}{H_1 \times H_2}}$$



الشكل (1.39) المسارات موجودة على ارتفاعات مختلفة من الطبقة العازلة

من خلال التحكم بالبارامترات H1 و H2 و D وثابت العزل الكهربائي Er وزمن الجبهة الصاعدة للإشارة وطول منطقة التوازي بين الناقلين يتم التحكم بمقدار التداخل بين الإشارات [3].

1.8.3. اعتبارات تصميم بيئية:

عند تصميم مُخطط الدارة المطبوعة يجب أن يتم مراعاة العوامل البيئية، وتتضمن:

1. اعتبارات حرارية.

2. التلوث.

1.8.3.1. إعتبارات حرارية:

يجب عند تصميم مخطط الدارة المطبوعة تزويد الدارة بنظام تبريد يكفل تخفيض درجة حرارة العناصر عند تشغيلها، ويتم مراعاة النقاط التالية للحفاظ على تبريد الدارة:

1. العزل الحراري للعناصر الحساسة للحرارة من الحرارة العالية.

2. إستخدام المحولات الحرارية مع إعطاء مساحة كافية للمحولة الحرارية على سطح الدارة المطبوعة.

3. تخفيض درجة الحرارة باستخدام تيار هوائي Air Flow يقوم بتبريد الدارة عند إرتفاع درجة حرارتها.

4. عدم تجميع العناصر الضخمة بالقرب من مصدر التيار الهوائي لكي لا يتم منع تدفق الهواء [2].

1.8.3.2. التلوث:

يجب أن تكون الدارة المطبوعة محمية من الغبار والملوثات والرطوبة وتشكل الأملاح والإستعمال الميكانيكي السيء، حيث يتم تغليف الدارة المطبوعة عادة باستخدام مواد مثل السيليكون والأكريليك والبوليبيوريثين والبوليستيرين.

تكون سماكة التغليف لأجل التطبيقات العسكرية طبقاً للمقياس الأمريكي MIL-I46058، ولأجل التطبيقات العامة تكون السماكة عادة بين 0.075 mm و 0.25 mm، كما يجب تثبيت الدارة [1].

الفصل الثاني: آلية عمل ماكينات التجميع الآلية والدارة المستخدمة في البحث

2.1. ماكينات التجميع الآلية:

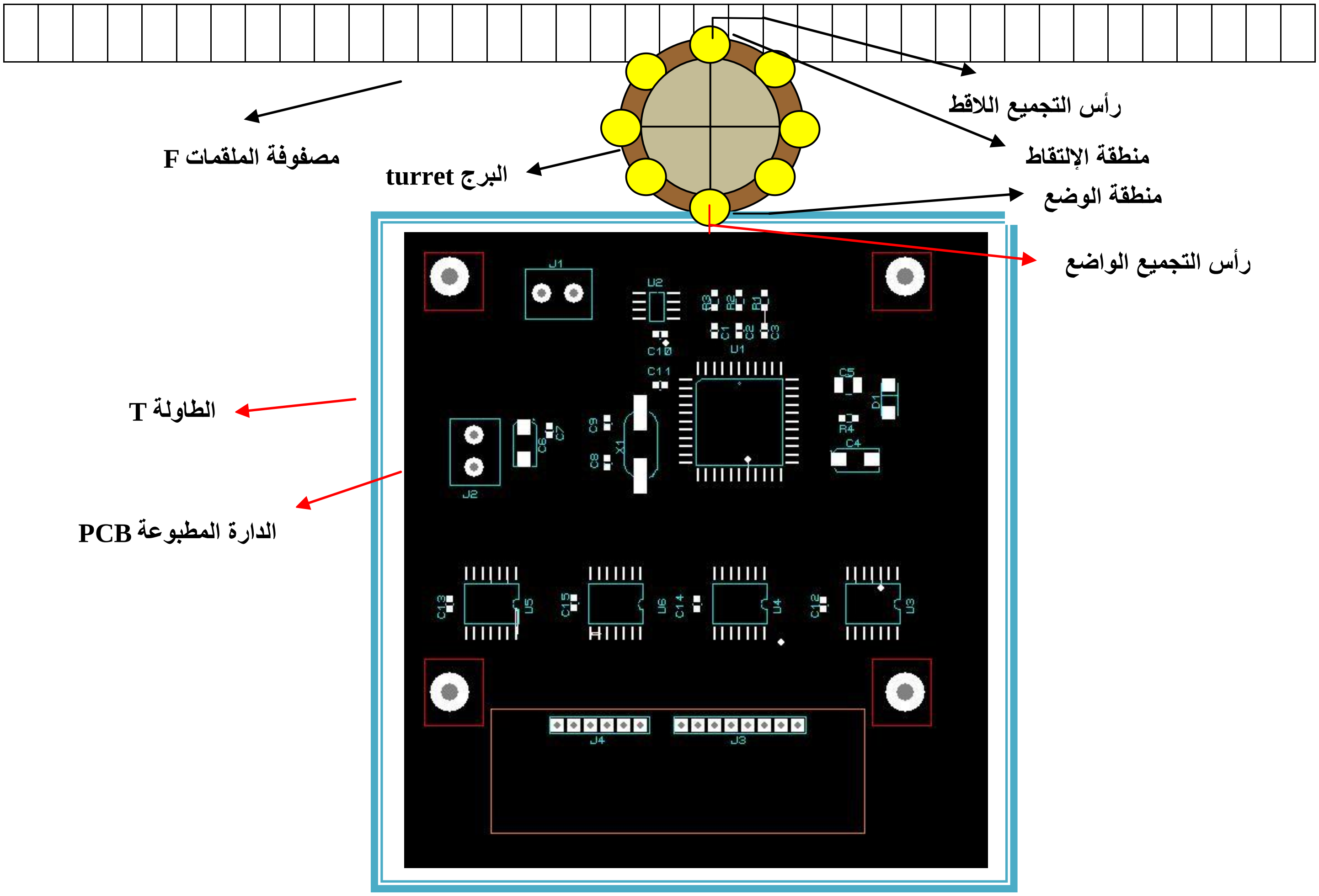
إن ماكينات التجميع الآلية هي تجهيزات كهربائية آلية مؤتمتة ومبرمجة باستخدام الحاسب وظيفتها إلتقاط العناصر الإلكترونية من ملقماتها ووضع هذه العناصر على المواقع المخصصة لها على الدارة المطبوعة بدقة، حيث تتم عمليات الإلتقاط والتوضع بدقة وبشكل آلي [1].

الفائدة من استخدام ماكينات التجميع الآلية هو تقليل الأخطاء المرتكبة أثناء التجميع والحصول على أعلى دقة مُمكنة في الإلتقاط والتوضع بالإضافة إلى سرعة ووثوقية عملية التجميع باستخدام ماكينات التجميع الآلية، وعملية التجميع هي إلتقاط عناصر إلكترونية مُختلفة الأشكال والحجوم من مُلقماتها ووضع هذه العناصر في مواقعها المحددة على الدارة المطبوعة بتسلسل وترتيب لمواقع العناصر يسمى مسار التجميع [1].

تتألف ماكينة التجميع الآلية من ثلاثة أجزاء:

1. الطاولة Table.
2. مصفوفة الملقمات Feeders.
3. البرج Turret.

ويبين الشكل 2.1 ماكينة تجميع آلية [1].



الشكل (2.1) ماكينة التجميع الآلية

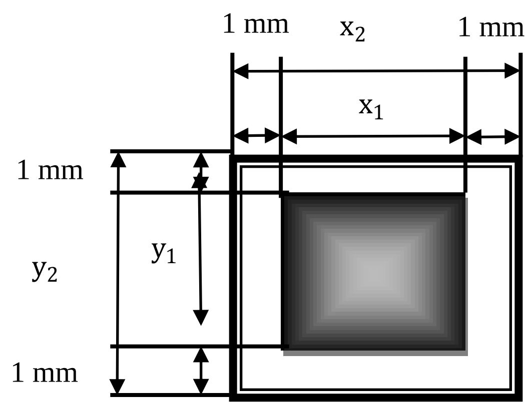
2.1.1. الطاولة Table:[1]

ويُرمز لها بالرمز T، وهي طاولة تحمل الدارة المطبوعة التي سيتم تجميعها، وتكون الطاولة T متحركة وتتحرك بالإتجاه X أو الإتجاه Y أو كلاهما، والهدف من حركة الطاولة T إيصال موقع العنصر على الدارة المطبوعة C_i إلى منطقة الوضع عند رأس التجميع الواضع، بحيث يكون رأس التجميع الواضع تماماً فوق موقع هذا العنصر.

2.1.2. مصفوفة الملقمات Feeders:

ويُرمز لها بالرمز F، وهي مصفوفة تتألف من نسق من مخازن تحتوي على عناصر إلكترونية، بحيث يحتوي كل مخزن من هذا النسق على مجموعة من نوع واحد من العناصر يختلف عن بقية أنواع العناصر، وتصطف المخازن مع بعضها في نسق لتشكل مصفوفة ملقمات، وتكون مصفوفة الملقمات متحركة تتحرك بالإتجاه X فقط، والهدف من حركة مصفوفة الملقمات تزويد العناصر الإلكترونية من مخازنها، فعندما يراد وضع ترانزستور من نوع ما على الدارة المطبوعة

ستتحرك مصفوفة الملقمات على المحور X لإيصال المخزن الذي يحتوي على الترانزستور إلى مكان الإلتقاط، حيث يقوم رأس التجميع اللاقط في منطقة الإلتقاط بإلتقاط الترانزستور وحمله لوضعه في المكان المخصص له على الدارة المطبوعة [1].



الشكل (2.2) وضع العنصر i في ملقمه f(i)

إن وضع العنصر i في ملقمه f(i) في مصفوفة الملقمات يكون مبين على الشكل 2.2، حيث:

x_1 و y_1 : أبعاد الحجم الحقيقي للعنصر.

x_2 و y_2: أبعاد حجم ملقم العنصر.

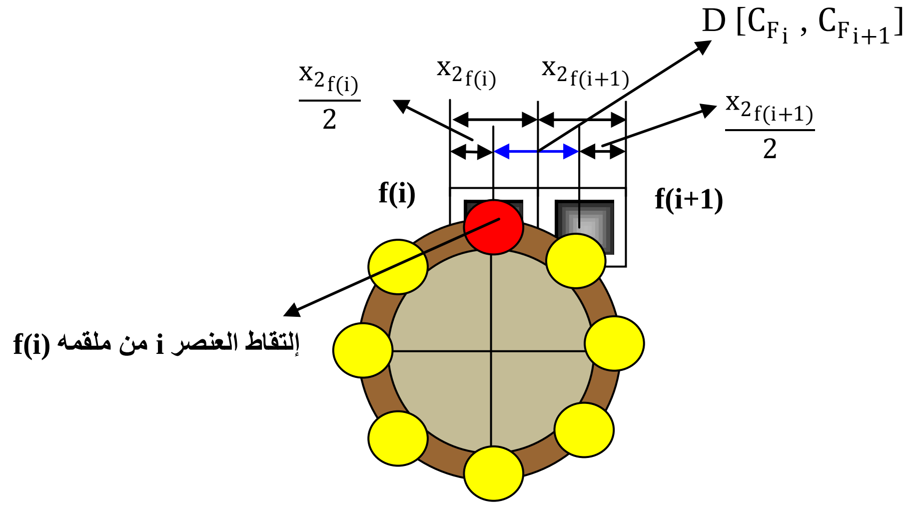
يُضاف 1 mm في كل جهة من الجهات الأربع للعنصر لتأمين تحرير العنصر من ملقمه بشكل مريح عند إلتقاط العنصر من ملقمه باستخدام رأس التجميع اللاقط دون إحداث عطل أو ضرر بالعنصر [1].

حساب البُعد بين ملقمي عنصرين f (i) وf (i+1) مُتتالين مُتجاورين:

ليكن لدينا مُلقمين مُتتاليين في مصفوفة الملقمات f(i) و f(i+1) حيث سيتم إلتقاط العنصر i من ملقمه f(i) يليه إلتقاط العنصر i+1 من ملقمه f(i+1)، وحيث أن f(i) و f(i+1) مُتجاورين يكون لدينا حالتان:

- **في الحالة a:**

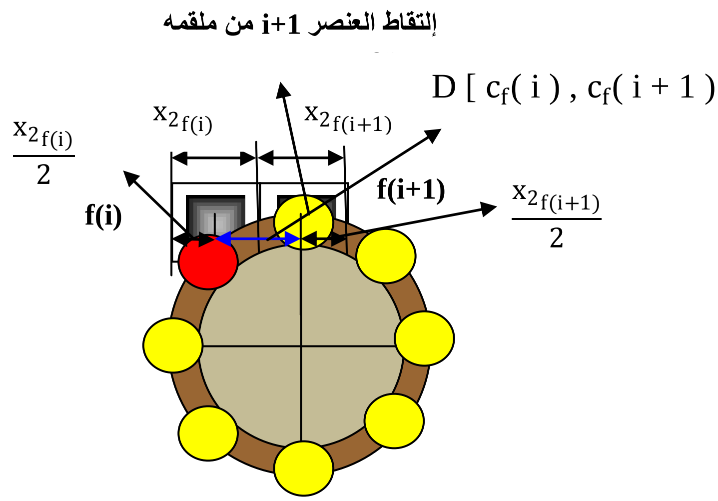
تم إلتقاط العنصر i من ملقمه f(i) من قبل رأس التجميع اللاقط، كما هو مبين على الشكل 2.3.



الشكل (2.3) التقاط العنصر i من ملقمه f(i) من قبل رأس التجميع اللاقط

- **<u>في الحالة b:</u>**

تحركت مصفوفة الملقمات أفقياً مسافة D[f(i), f(i+1)] لإيصال الملقم f(i+1) إلى منطقة الإلتقاط ليتم إلتقاط العنصر i+1 من قبل رأس التجميع اللاقط، كما في الشكل 2.4.



الشكل (2.4) إيصال الملقم f(i+1) إلى منطقة الالتقاط

<u>لحساب المسافة التي قطعتها مصفوفة الملقمات F في هذه الحركة:</u>

يعتمد البعد الأفقي x_2 لحجم ملقم العنصر في حساب المسافة، ويكون رأس التجميع اللاقط دائماً عمودي على مركز ملقم العنصر.

يُقاس البعد بين ملقمي العنصرين $C_{f(i)}$ و $C_{f(i+1)}$، والبعد الناتج هو المسافة التي قطعتها مصفوفة الملقمات F في هذه الحركة [3].

$$D\,[f(i), f(i+1)] = D\,[C_{f(i)}, C_{f(i+1)}] = \frac{x_{2f(i)}}{2} + \frac{x_{2f(i+1)}}{2} = \frac{1}{2}\,x_{2f(i)} + \frac{1}{2}\,x_{2f(i+1)}$$

$x_{2f(i)}$: البعد الأفقي لحجم ملقم العنصر f(i).

$x_{2f(i+1)}$: البعد الأفقي لحجم ملقم العنصر f(i+1).

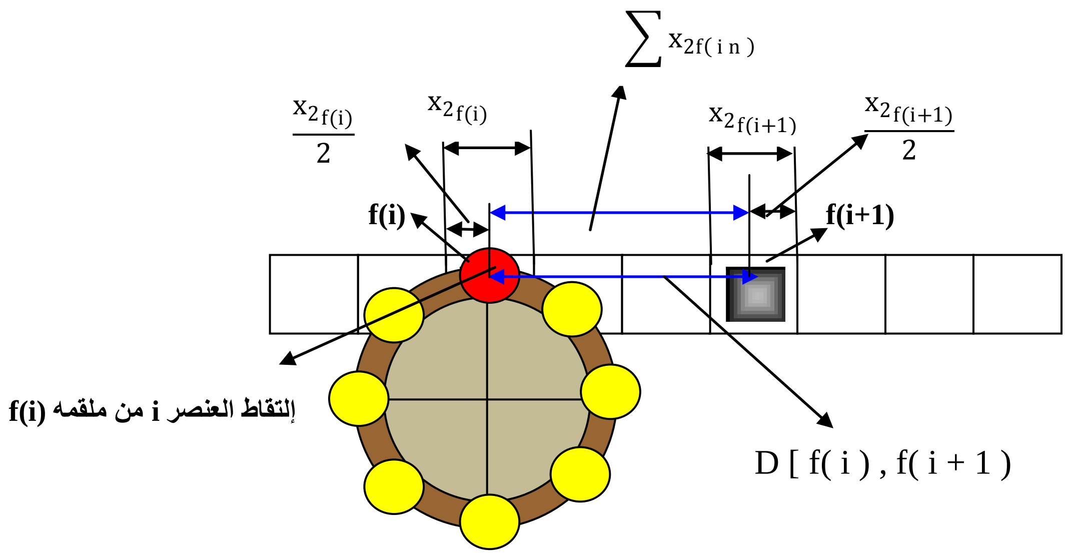
$\frac{x_{2f(i)}}{2}$: البعد بين مركز الملقم f(i) وحافة الملقم f(i+1).

$\frac{x_{2f(i+1)}}{2}$: البعد بين مركز الملقم f(i+1) وحافة الملقم f(i).

<u>حساب البعد بين مُلقمي عنصرين مُتتاليين غير مُتجاورين:</u>

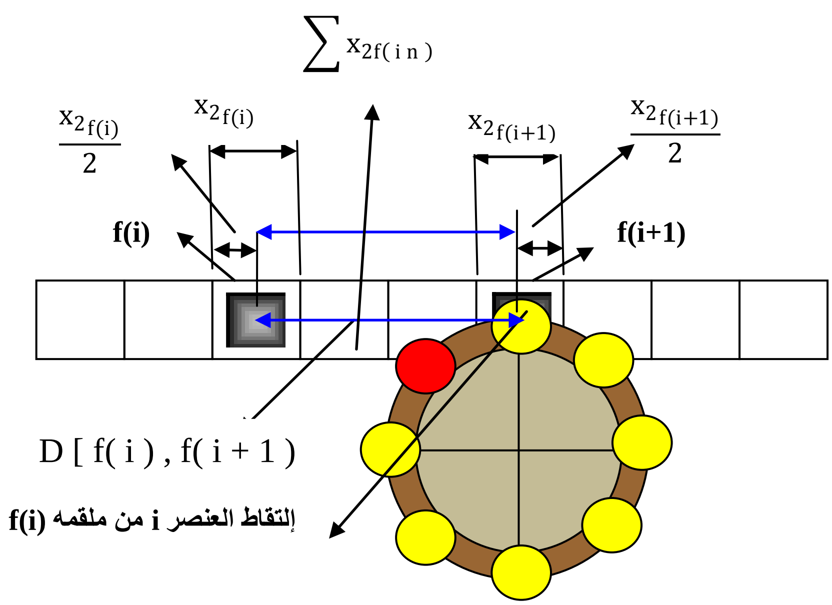
لدينا مُلقمي عنصرين f(i) وf(i+1) مُتتاليين غير مُتجاورين حيث سيتم إلتقاط العنصر i من ملقمه f(i) يليه إلتقاط العنصر i+1 من ملقمه f(i+1) وحيث أن f(i) وf(i+1) غير مُتجاورين يكون لدينا حالتان:

- **<u>في الحالة a:</u>** يتم إلتقاط العنصر i من ملقمه f(i) باستخدام رأس التجميع اللاقط، كما في الشكل 2.5.



الشكل (2.5) حساب البعد بين مُلقمي عنصرين مُتتاليين غير مُتجاورين

- **<u>في الحالة b:</u>** تحركت مصفوفة الملقمات أفقياً مسافة قدرها D[f(i), f(i+1)] لإيصال ملقم العنصر f(i+1) إلى منطقة الإلتقاط ليتم إلتقاط العنصر i+1 من قبل رأس التجميع اللاقط، كما في الشكل 2.6.



الشكل (2.6) إيصال الملقم f(i+1) إلى منطقة الالتقاط

لحساب المسافة التي قطعتها مصفوفة الملقمات F في هذه الحركة:

يعتمد البعد الأفقي x_2 لحجم ملقم العنصر في حساب المسافة، ويكون رأس التجميع اللاقط دائماً عمودياً على مركز ملقم العنصر.

يُقاس البعد بين مركزي الملقمين $C_{f(i)}$ و $C_{f(i+1)}$، والبعد الناتج هو المسافة التي قطعتها مصفوفة الملقمات F في هذه الحركة [3].

$$D\,[f(i), f(i+1)] = D\,[C_{f(i)}, C_{f(i+1)}] = \frac{x_{2f(i)}}{2} + \sum x_{2f(in)} + \frac{x_{2f(i+1)}}{2}$$

$\frac{x_{2f(i)}}{2}$: البعد بين مركز الملقم f (i) وحافة الملقم المجاور له.

$\sum x_{2f(in)}$: مجموع الأبعاد الأفقية x_2 للملقمات الموجودة بين f(i) و f(i+1).

$\frac{x_{2f(i+1)}}{2}$: البعد بين مركز f(i+1) وحافة الملقم المجاور له.

يتم إيجاد البعد الأفقي x_2 لملقمات العناصر بعد أن يتم إيجاد البعد الأفقي الدقيق الحقيقي للعناصر x_1 ثم إضافة مسافة 2 mm للبعد الأفقي الناتج x_1 لكل عنصر.

2.1.3. البرج Turret ورؤوس التجميع H:

هو برج دوار يحمل 8 رؤوس تجميع لاقطة – واضعة، أي أن كل رأس التجميع H يقوم بإلتقاط العنصر المطلوب من ملقمه في مصفوفة الملقمات ثم ينتقل من منطقة الإلتقاط إلى منطقة التوضع في حركة تسمى فهرسة البرج ليقوم بوضع العنصر في موقعه على الدارة المطبوعة [1].

تتم حركة فهرسة البرج خلال زمن يُرمز له بالرمز $t_{i\ turret}$ أي زمن حركة البرج عند وضع العنصر i في موقعه C_i، ويُحسب من العلاقة [1]:

$$t_{i\ turret} = \frac{D_{i\ turret}}{V_{turret}}$$

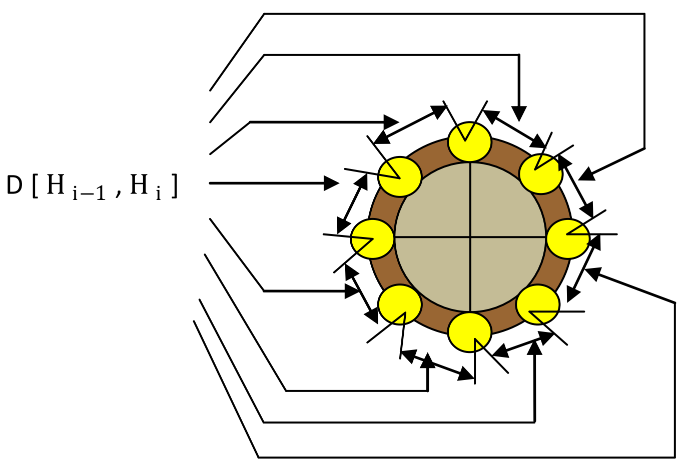
$D_{i\ turret}$: المسافة بين مركز رأس التجميع H_i ومركز رأس التجميع H_{i-1}، وتُكتب بالعلاقة:

$$D_{i\ turret} = D[H_{i-1}, H_i]$$

V_{turret}: السرعة الوسطية للحركة الدورانية للبرج.

ويُبين الشكل 2.7 المسافة بين كل رأس تجميع ورأس التجميع الذي يليه.

وحيث أن كل رأسي تجميع يكونان مُتقابلين، وحيث أن المسافة بين مركز كل رأس تجميع ومركز رأس التجميع الذي يليه هي نفسها لكل رؤوس تجميع البرج فإن المسافة $D_{i\ turret}$ تُعتبر ثابتة، أي:



الشكل (2.7) حساب المسافات بين رؤوس التجميع في البرج

$$D_{i\ turret} = D[H_{i-1}, H_i] = D[H_0, H_1] = D[H_1, H_2] = D[H_2, H_3] = D[H_3, H_4]$$
$$= D[H_4, H_5] = D[H_5, H_6] = D[H_6, H_7] = D_{turret}$$

لذا يُعتبر زمن حركة فهرسة البرج هو زمن ثابت [3]:

$$t_{i\ turret} = t_{turret} = \frac{D_{turret}}{V_{turret}} = const$$

2.1.4. السرعة الوسطية للطاولة T:

يتم حساب السرعة الوسطية V للطاولة بقسمة المسافة D على الزمن T من العلاقة:

$$V = \frac{D}{T}$$

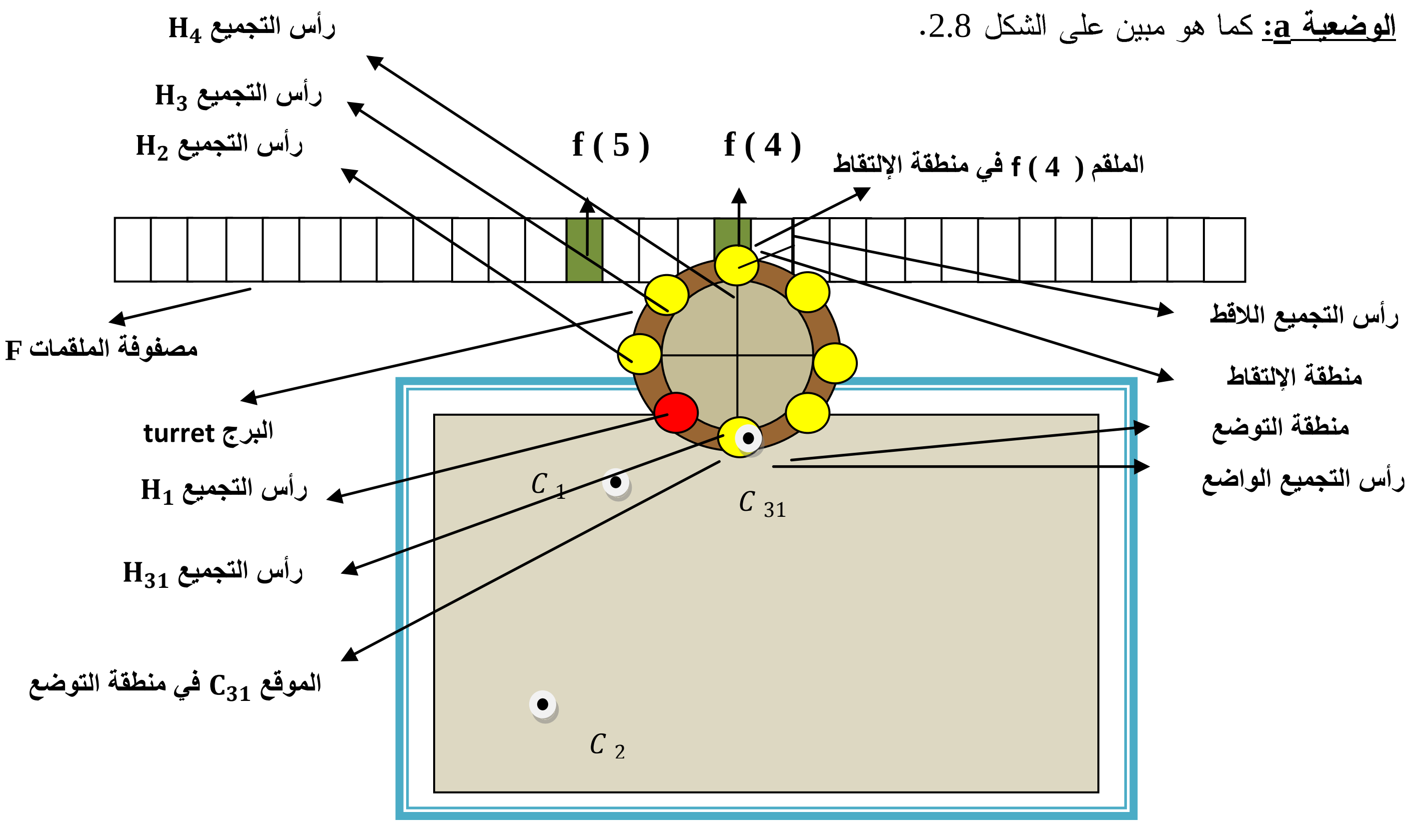
وتتغير السرعة الوسطية للطاولة من ماكينة تجميع إلى أخرى حسب الشركة المصنعة لها، والسرعة الوسطية للطاولة المستخدمة في البحث تكون مُساوية 20.669 mm/sec، وتُعتبر السرعة الوسطية لمصفوفة الملقمات F مساوية للسرعة الوسطية للطاولة T وللسرعة الوسطية لحركة فهرسة البرج.

$$V_{table} = V_{feeder} = V_{turret} = 20.669\ \frac{mm}{sec}.$$

2.1.5. التزامن بين الحركات الثلاث:

لتكن لدينا دارة مطبوعة مؤلفة من 31 عنصر، والمطلوب حساب زمن وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1. عند وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1 على الدارة المطبوعة يكون لدينا وضعيتين [2].

الوضعية a: كما هو مبين على الشكل 2.8.



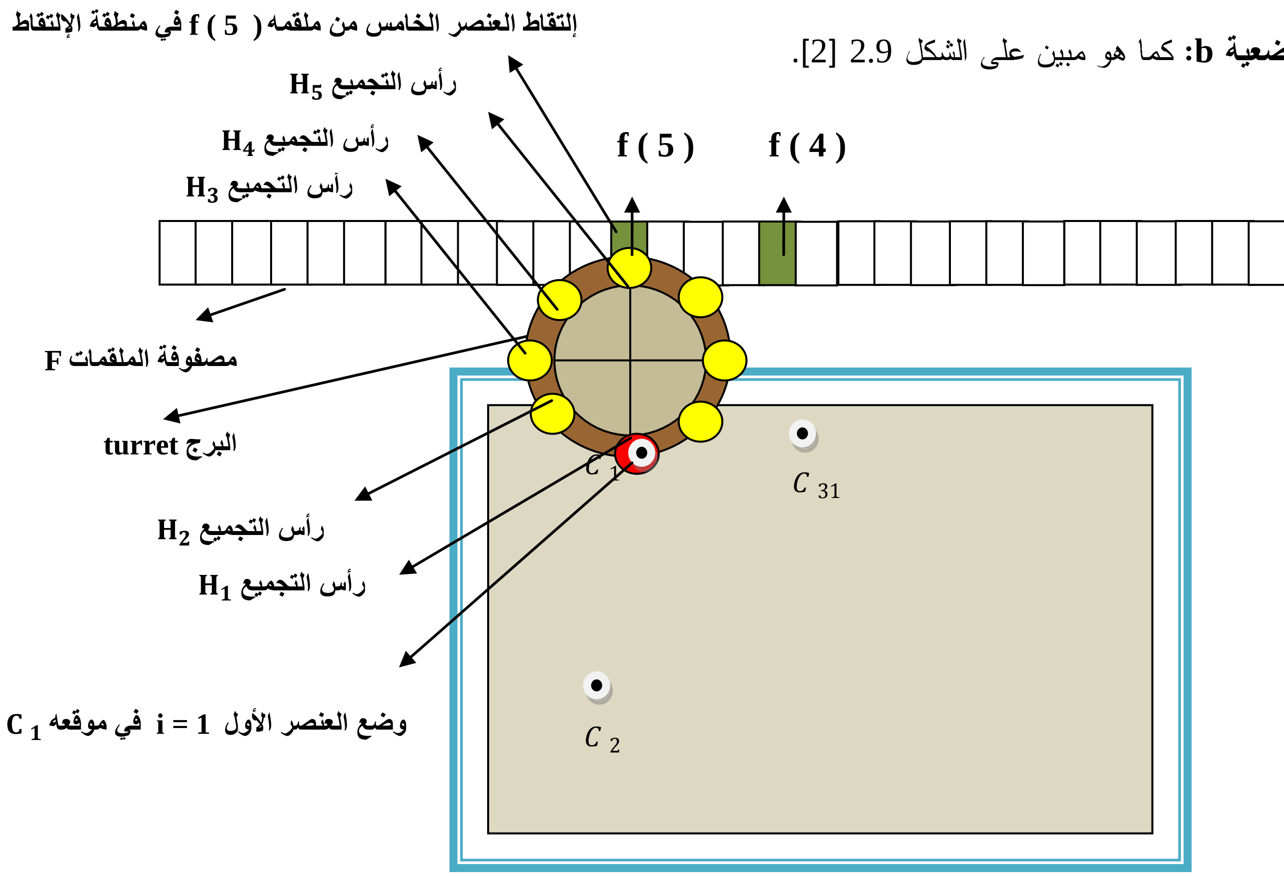
الشكل (2.8) الوضعية a

- تكون الطاولة متوضعة بحيث يكون رأس التجميع الواضع تماماً فوق الموقع C_0 وهو الموقع السابق لوضع العنصر الأول في موقعه C_1.
- تكون مصفوفة الملقمات متوضعة بحيث يكون الملقم f(i+4)=f(0+4)=f(4) في منطقة الالتقاط، حيث (وضع العنصر i=0=31 الأخير يقابله التقاط العنصر الرابع من ملقمه (f (4)).
- يكون البرج متوضع بحيث أن رأس التجميع H_1 الذي يحمل العنصر الأول متوضع في الوضعية السابقة لمنطقة الوضع.

<u>إذاً في الوضعية a:</u>

1. الموقع C_0 يكون في منطقة الوضع عند رأس التجميع الواضع.
2. الملقم f(4) يكون في منطقة الإلتقاط عند رأس التجميع اللاقط.
3. رأس التجميع H_1 الذي يحمل العنصر الأول متوضع في الوضعية السابقة لمنطقة الوضع.

الوضعية b: كما هو مبين على الشكل 2.9 [2].



الشكل (2.9) الوضعية b

- تتحرك الطاولة مسافة قدرها $D_{1\ table}$ لإيصال الموقع C_1 إلى منطقة التوضع عند رأس التجميع الواضع.

- تتحرك مصفوفة الملقمات باتجاه المحور X لإيصال الملقم $f(i+4)=f(1+4)=f(5)$ وهو ملقم العنصر الخامس إلى منطقة الإلتقاط ليتم إلتقاطه من رأس التجميع اللاقط ووضعه لاحقاً في موقعه C_5.
- يتحرك البرج بحركة فهرسة لإيصال رأس التجميع H_1 إلى منطقة التوضع.

<u>إذاً في الوضعية b:</u>

1. الموقع C_1 في منطقة التوضع عند رأس التجميع الواضع.
2. الملقم f (5) في منطقة الإلتقاط عند رأس التجميع اللاقط.
3. رأس التجميع H_1 في منطقة التوضع.

وأزمنة الحركات الثلاث تُحسب من العلاقات [2].

- زمن حركة الطاولة عند وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1:

$$t_{1\ table} = \frac{D_{1\ table}}{V_{table}} = \frac{D[C_0, C_1]}{V_{table}} = \frac{D[C_{31}, C_1]}{V_{table}}$$

- زمن حركة مصفوفة الملقمات عند وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1:

$$t_{1\ feeder} = \frac{D_{1\ feeder}}{V_{feeder}} = \frac{D[f(4), f(5)]}{V_{feeder}}$$

- زمن حركة فهرسة البرج عند وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1:

$$t_{turret} = \frac{D_{turret}}{V_{turret}}$$

لحساب زمن وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1 نُقارن بين الأزمنة الثلاثة $t_{1\ table}$، $t_{1\ feeder}$، t_{turret}، والزمن الأكبر بينها هو زمن وضع العنصر الأول i=1 في موقعه C_1 ويُرمز له بالرمز t_1.

$$t_1 = \max(t_{1\ table}, t_{1\ feeder}, t_{turret})$$

<u>وبشكل عام:</u> لحساب زمن وضع العنصر i في موقعه C_i [2]:

1. نُوجد زمن حركة الطاولة T عند وضع العنصر i، $t_{i\ table}$.
2. نُوجد زمن حركة مصفوفة الملقمات عند وضع العنصر i، $t_{i\ feeder}$.

3. نُوجد زمن حركة فهرسة البرج عند وضع العنصر i، t_{turret}.

4. نُقارن بين الأزمنة الناتجة، والزمن الأكبر بينها هو زمن وضع العنصر i في موقعه C_i.

$$t_i = \max\left(t_{i\,table}\ , t_{i\,feeder}\ , t_{turret}\right)$$

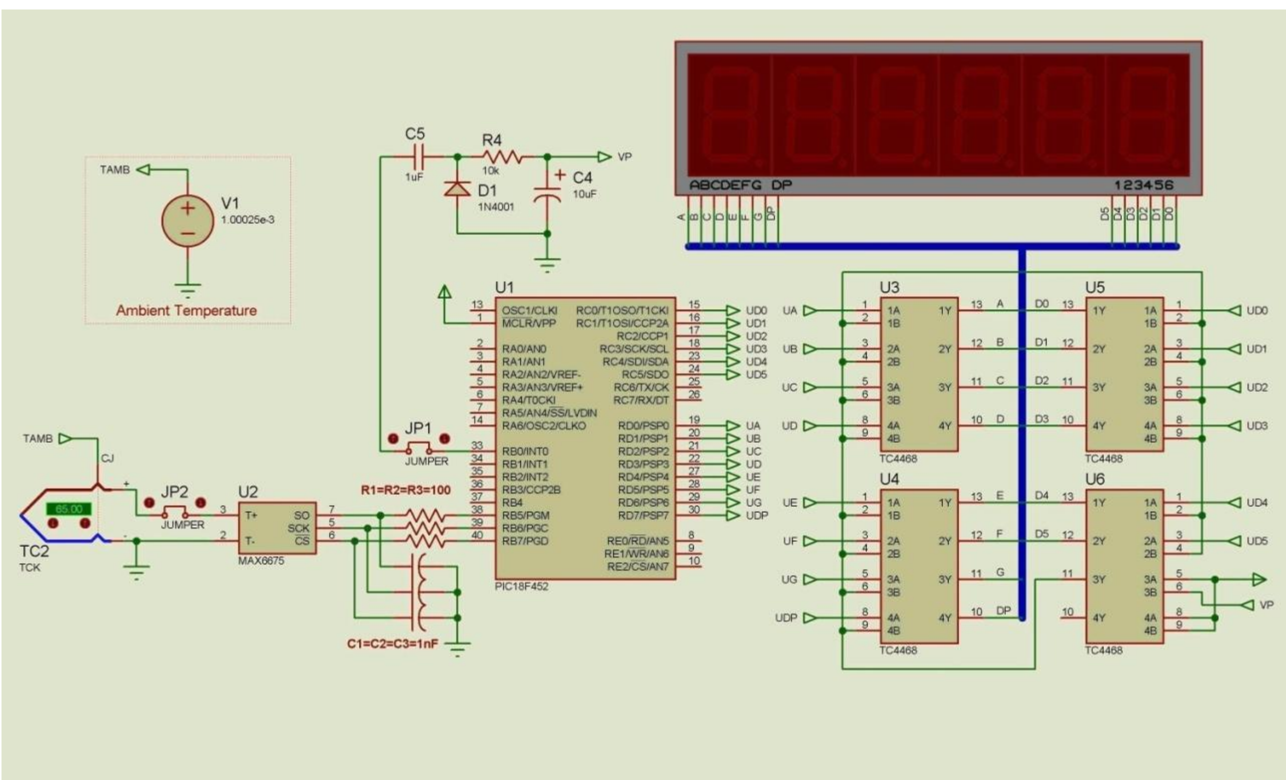
وبجمع الأزمنة t_i نحصل على زمن تجميع الدارة المطبوعة T [2].

$$T = \sum_{i=1}^{31} t_i$$

2.2. الدارة المُستخدمة في البحث:

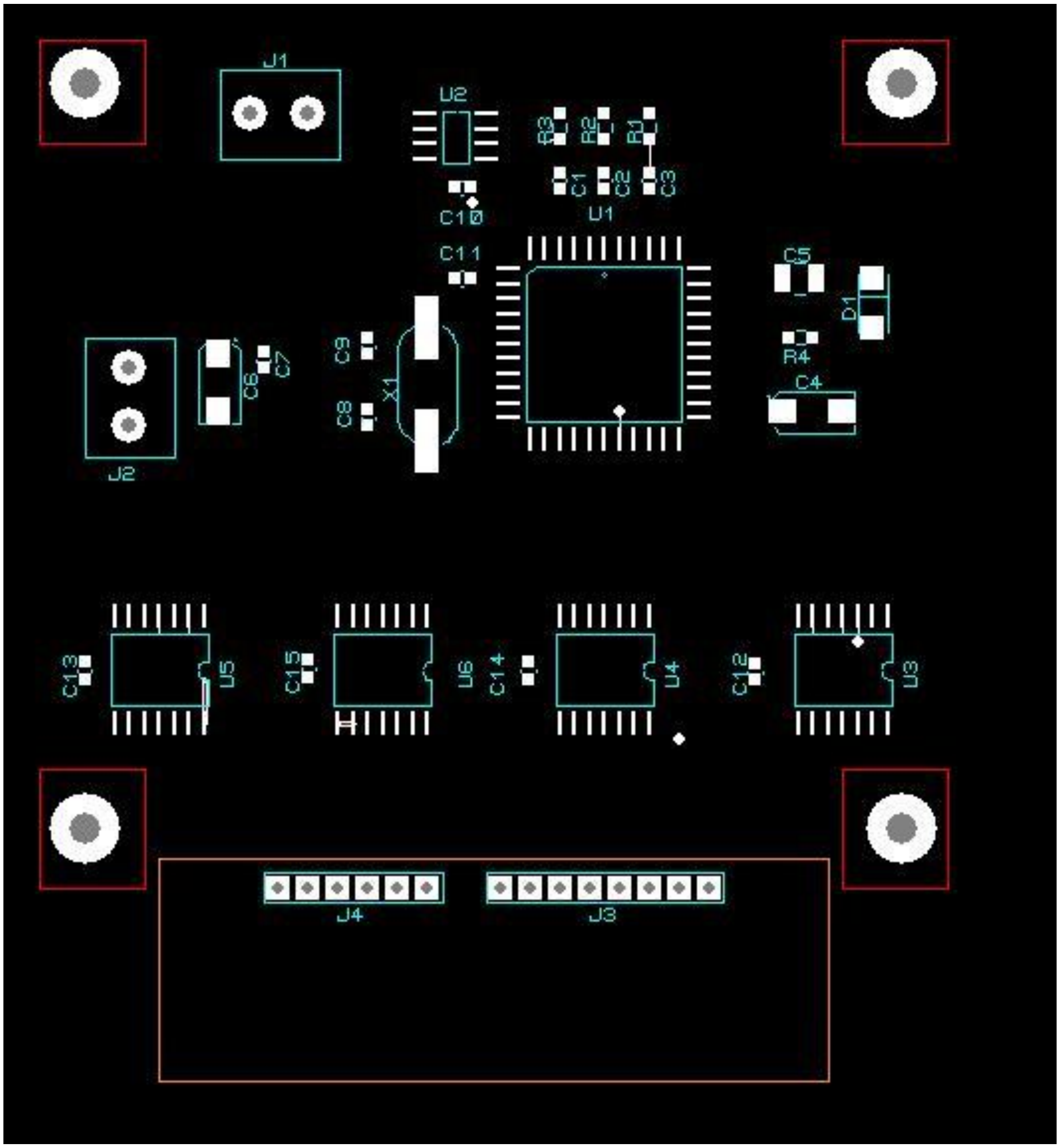
2.2.1. المقدمة:

الدارة المُستخدمة في البحث هي دارة مقياس رقمي لدرجة الحرارة وهو يُستخدم لقياس درجة الحرارة المحيطة باستخدام حساس حرارة رقمي TC_2، ويُبين الشكل 2.10 مخطط الدارة المستخدمة في البحث.



الشكل (2.10) الدارة المستخدمة في البحث

كما يُبيــن الشكل 2.11 مخطط تثقيب الدارة المطبوعة قبل عملية التجميع.



الشكل (2.11) مخطط تثقيب الدارة المستخدمة في البحث

2.2.2. العناصر الإلكترونية المُستخدمة في الدارة:

عدد العناصر الإلكترونية التي سيتم وضعها في مواقعها على الدارة المطبوعة هو 31 عنصراً إلكترونياً، أما عدد ملقمات العناصر في مصفوفة الملقمات هو 12 ملقماً، ويُبين الجدول 2.1 مُعطيات العناصر المُستخدمة في الدارة.

العناصر المُستخدمة في الدارة				
نوع العنصر	**رمز العنصر على الدارة المطبوعة**	**مُواصفات وقيمة العنصر**	**رمز ملقم العنصر**	**عدد العناصر**
مكثفة	C_5	CC1310: 1µF	$f(C_{1n})$	1
مكثفة	C_4, C_6	TC6032: 10µF	$f(C_{10\mu})$	2
مكثفة	$C_1, C_2, C_3, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}$	CR3225: 1nF	f(C)	12
قابس	J_1, J_2	TBLOCK-M2	f(J)	2
محول قياس حرارة	U	SO8: MAX6675	$f(U_2)$	1
مقاومة	R_1, R_2, R_3, R_4	0805: 100Ω	f(R)	4
ديود	D	DO214: 1N4001	$f(D_1)$	1
متحكم مصغر	U	PLCC44: PIC18F452	$f(U_1)$	1
هزاز كريستالي	X	XTAL: CRYSTAL	$f(X_1)$	1
دارة منطقية من نوع CMOS	U_3, U_4, U_5, U_6	SO14W: TC4468	f(SO14W)	4
واصل	J	CONN-SIL8	$f(J_3)$	1
واصل	J	CONN-SIL6	$f(J_4)$	1

الجدول (2.1) مُعطيات العناصر المستخدمة في الدارة

الفصل الثالث: خوارزمية النحل

3.1. المقدمة:

النحلة هي حشرة إجتماعية تعيش في جماعات منظمة، والحشرة الإجتماعية هي الحشرة التي تعيش داخل مجتمع يتكون من أبوين (أوعلى الأقل أنثى) وأبناءهما، ويعيش أفراد الجيلين في مسكن واحد ويقوم بينهم تعاون معيشي بدرجات مختلفة، وقد تطورت الحياة الإجتماعية الحشرية التي هي عبارة عن حياة متطورة إلى درجة كبيرة تطوراً بطيئاً خلال أحقاب بعيدة وذلك مع تزايد درجات التعاون التكافلي، ومن أنواع الحشرات الإجتماعية المعروفة حالياً النحل والنمل والدبابير [6].

3.2. تمييز أفراد خلية النحل لطائفتهم من خلال رائحة الطائفة:

إكتشف العلماء في أوائل القرن الماضي أن النحلة الشغالة التي تضل طريقها إلى خليتها فإنها تكشف عن غدة موجودة في السطح الظهري لبطنها عند عثورها على مدخل الخلية حيث تفرز من هذه الغدة مادة سريعة التطاير لها رائحة حلوة ثم تقوم بنشر هذه المادة في الهواء بسرعة بإحداث تيار من الهواء بتحريك أجنحتها حركة سريعة إلى الخلف وعلى الفور تصل الرائحة إلى شغالات أخرى من نفس الطائفة فتستدل بدورها على مدخل الخلية.

كما إكتشف العالم Von Frisch عام 1926 أن النحل السارح عندما يجد وعاء يحتوي على كمية وافرة من محلول سكري فإنه يكشف عن غدد الرائحة في بطنه أثناء طيرانه فوق الوعاء، ما يدل باقي أفراد النحل على مكان مصدر المحلول السكري، ثم لاحظ بعد ذلك أن النحل السارح يكشف عن غدد الرائحة في بطنه أثناء وجوده فوق الأزهار وإمتصاصه لرحيقها [7].

كما لاحظ العالم Von Frisch أن النحلة الكشافة بعد عثورها على مصدر الرحيق وعودتها للخلية فإنها تمارس نوعين من الرقص يُعبران عن بعد المصدر المستكشف عن الخلية وهما:

1. الرقص الدائري Round Dance.
2. الرقص الإهتزازي Waggle Dance.

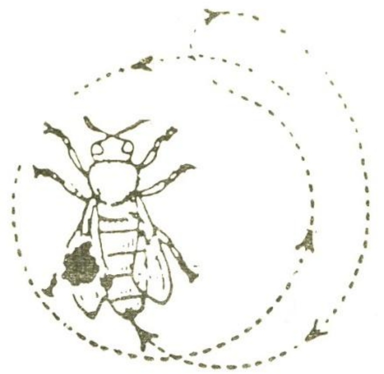
3.3. لغة النحل:

إكتشف العالم Von Frisch اللغة التي يتفاهم بها النحل وأمكنه فك رموزها بعد دراسات شاقة، فقد إتضح له أن النحلة المكتشفة عندما تدخل إلى الخلية تقوم بممارسة نوع خاص من الرقص يرتبط بطريقة أدائه مع بعد المصدر المكتشف عن الخلية والإتجاه الذي يوجد فيه هذا المكان [7].

3.4. تحديد بعد مصدر الرحيق المكتشف عن الخلية:

(أ) الرقص الدائري Round Dance:

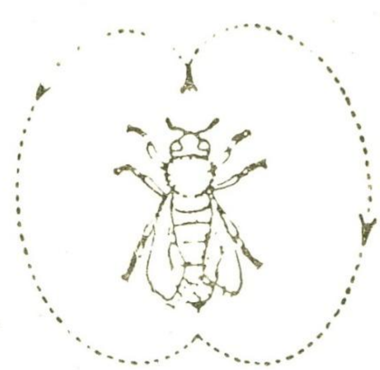
عندما وضع العالم Von Frisch إناء به محلول سكري على بعد عشرة أمتار من خلية عرض (لها واجهة زجاجية) لاحظ أن الشغالات التي تذهب إلى هذا الوعاء وتحمل الرحيق فإنها عند عودتها إلى الخلية تقوم بالسير في دوائر فوق أقراص الشمع التي تكون عادة موضوعة بشكل عمودي داخل الخلية مما يدل على أن هذا الرقص يشير إلى قرب مصدر الغذاء بالنسبة للخلية وأن مصدر الغذاء قريب وحول الخلية كما هو مُبين على الشكل 3.1.



الشكل (3.1) الرقص الدائري

(ب) الرقص الإهتزازي Waggle Dance:

وعندما أبعد الاناء عن الخلية (ما بين 50 إلى 200 متر) بدأت الشغالة المكتشفة تُمارس حركات أخرى عند عودتها إلى خليتها، فشوهدت وهي تسير لمسافة قصيرة في خط مستقيم وتُحرك بطنها بسرعة من جانب لآخر ثم تتحرك في قوس إلى اليسار ثم في خط مستقيم ثم تتحرك في قوس إلى اليمين، ولهذا أطلق على هذا النوع من الرقص الرقص الإهتزازي كما هو مُبين على الشكل 3.2 [7].



الشكل (3.2) الرقص الإهتزازي

وعند دراسة المسافة بين مصدر الغذاء والخلية وعدد اللفات التي تدورها الشغالة في وقت معين ثابت فلوحظ بعد إجراء العديد من التجارب أنه [7]:

1. إذا كانت المسافة 100 متر فإن عدد اللفات الكاملة قي 15 ثانية يكون من 9 الى 10 لفات.

2. إذا كانت المسافة 200 متر فإن عدد اللفات الكاملة قي 15 ثانية يكون 7 لفات.

3. إذا كانت المسافة 1 كيلومتر فإن عدد اللفات الكاملة قي 15 ثانية يكون 4.5 لفة.

4. إذا كانت المسافة 6 كيلومتر فإن عدد اللفات الكاملة قي 15 ثانية يكون 2 لفة.

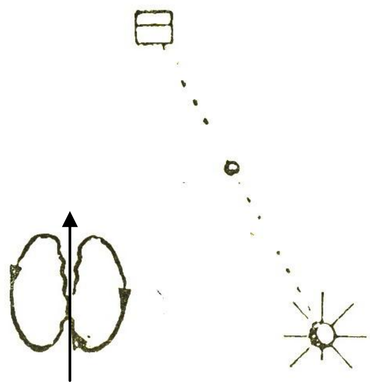
3.5. تحديد إتجاه مصدر الغذاء بالنسبة للخلية:

لاحظ العالم Von Frisch أن النحلة الشغالة المُكتشفة تُعبر عن إتجاه مصدر الغذاء المكتشف بالنسبة للخلية بطريقتين:

1. في حالة كون مصدر الغذاء قريباً وحول الخلية (في حدود ستة أمتار) فإن النحلة الشغالة تُمارس طريقة الرقص الدائري للتعبير على أن مصدر الغذاء قريب من الخلية يُمكن للشغالة رؤيته بمجرد طيرانها من الخلية.

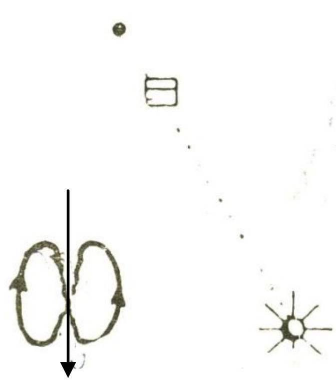
2. في حالة كون مصدر الغذاء بعيداً عن الخلية فإن النحلة الشغالة تُمارس الرقص الإهتزازي على أقراص الشمع المُتوضعة عمودياً داخل الخلية، وأثناء أدائها الرقص الإهتزازي تسير بحركة مستقيمة لمسافة قصيرة قبل أن تنعطف لتشكل اللفات، وأثناء حركتها في الحركة المستقيمة تُعبر عن إتجاه مصدر الغذاء عن الخلية وذلك بتغيير إتجاه الحركة المستقيمة بالنسبة لقوة الجاذبية الأرضية، والزاوية التي تصنعها في هذه الحركة تُعبر عن الزاوية بين الخلية والشمس [8].

فإذا كان إتجاه الحركة المستقيمة إلى الأعلى على أقراص الشمع العمودية فإن مصدر الغذاء يكون في إتجاه الشمس عن الخلية كما هو مُبين على الشكل 3.3.



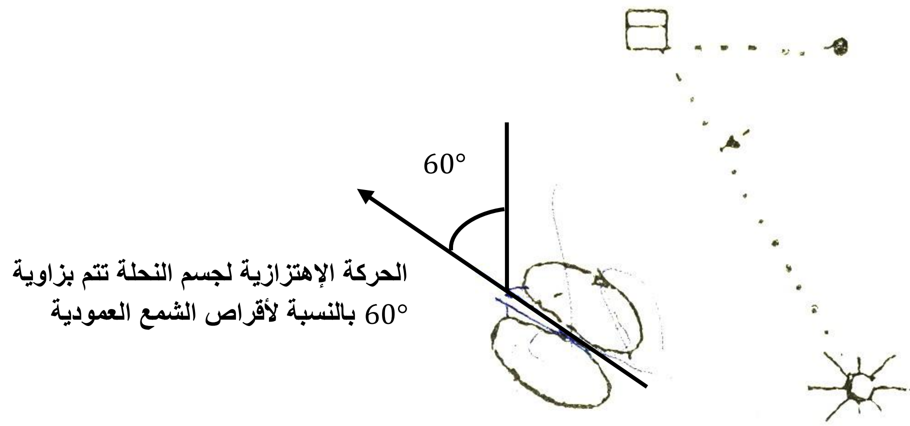
الشكل (3.3) مصدر الغذاء في إتجاه الشمس عن الخلية

أما إذا كان إتجاه الحركة المستقيمة إلى الأسفل فإن مصدر الغذاء يكون عكس إتجاه الشمس بالنسبة للخلية، كما هو مُبين على الشكل 3.4.



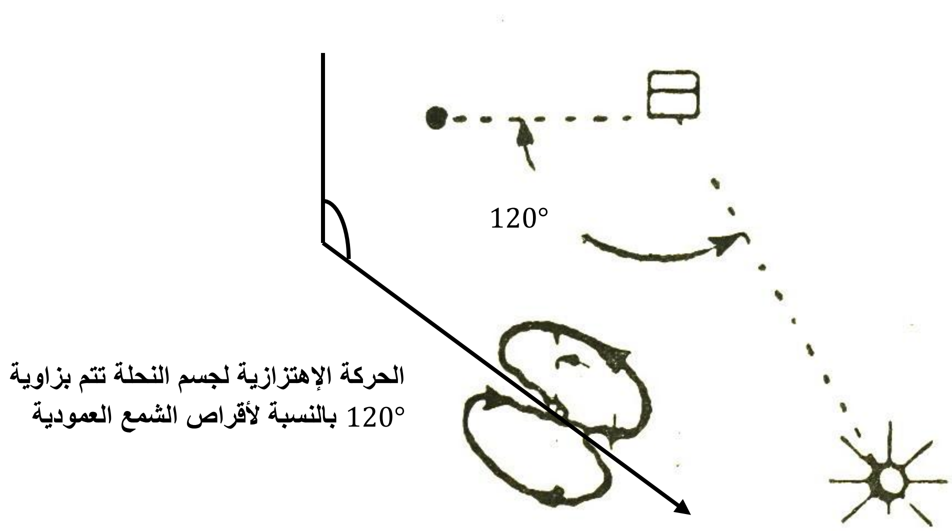
الشكل (3.4) مصدر الغذاء عكس إتجاه الشمس عن الخلية

أما إذا كان إتجاه الحركة المستقيمة يصنع زاوية °60 على يسار الخط الرأسي فإن المصدر يقع في زاوية °60 على يسار الشمس، كما هو مُبين على الشكل 3.5.

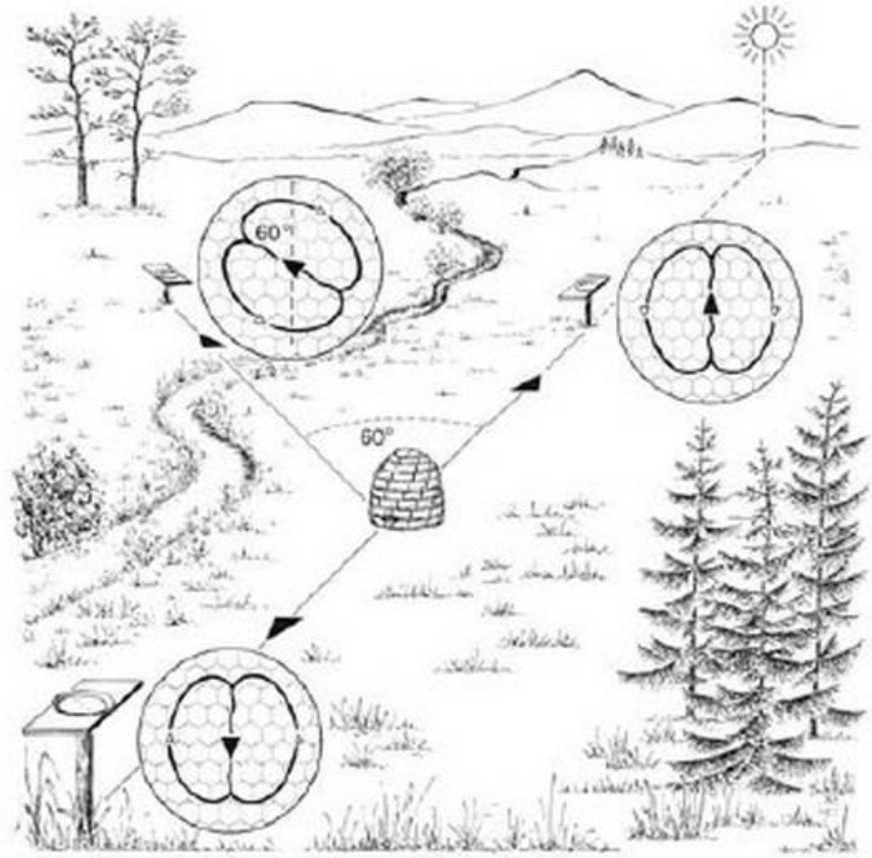


الشكل (3.5) مصدر الغذاء يقع في زاوية °60 على يسار الشمس

أما إذا كان إتجاه الحركة المستقيمة يصنع زاوية °120على يمين الخط الرأسي فإن المصدر يقع في زاوية °120 على يمين الشمس كما هو مُبين على الشكل 3.6، كما يُبين الشكل 3.7 الإتجاهات المختلفة لمصدر الغذاء عن الخلية.



الشكل (3.6) مصدر الغذاء يقع في زاوية °120 على يمين الشمس



الشكل (3.7) الإتجاهات المختلفة لمصدر الغذاء عن الخلية

كل نحلة f_i تُجري الرقصة (Waggle Dance) في الخلية فإن إحتمال إختيارها كنحلة مُختارة ذات مسار أمثلي يُكتب بالعلاقة [9]:

$$P_{f_i} = \frac{1}{C_{i\ max}}$$

$C_{i\ max}$: الجهد المبذول من النحلة أثناء طيرانها في مسار يربط كل أزهار القطاع المختارة الذي بحثت فيه، والإحتمال الوسطي لكامل أفراد السرب الكشاف يُكتب بالمعادلة [9]:

$$P_{f_{colony}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{C_{j\ max}}$$

n: عدد أفراد مجموعة النحل الكشاف التي تُجري الرقصة داخل الخلية خلال الزمن t.

$C_{j\ max}$: الجهد المبذول من النحلة j أثناء الطيران.

يُكتب زمن الرقصة d_i بالعلاقة:

$$d_i = \frac{P_{f_i}}{P_{f_{colony}}}$$

أي أنه كلما إزداد زمن الرقصة d_i ازداد إحتمال إختيار النحلة التي تؤدي هذه الرقصة كنحلة مختارة ذات مسار أمثل، كما أن تتبع أفراد الطائفة داخل الخلية للنحلة المُختارة من كل مجموعة إلى الحقل يتم حسب إحتمال r_i مُبين في الجدول 3.1 [9]:

إحتمال تتبع أفراد الخلية للنحلة المُختارة r_i	مجال إحتمال اختيار النحلة الكشافة كنحلة مُختارة ذات مسار أمثلي
0.60	$P_{f_i} < 0.9\ P_{f_{colony}}$
0.20	$0.9\ P_{f_{colony}} \le P_{f_i} < 0.95\ P_{f_{colony}}$
0.20	$0.95\ P_{f_{colony}} \le P_{f_i} < 1.15\ P_{f_{colony}}$
0.00	$1.15\ P_{f_{colony}} \le P_{f_i}$

الجدول (3.1) إحتمال تتبع أفراد الخلية للنحلة المُختارة r_i

3.6. خوارزمية النحل:

خوارزمية النحل هي خوارزمية بحث مستمدة من سلوك البحث عن الغذاء عند طائفة النحل، وتم تطوير هذه الخوارزمية في العام 2005 من قبل العالم Pham et al وهي تُحاكي سلوك سرب النحل الكشاف أثناء بحثه عن مصادر الغذاء للخلية، وتُنجز هذه الخوارزمية نوعين من البحث وهما البحث الشامل العشوائي والبحث الدقيق، والهدف من هذه الخوارزمية الحصول على الحلول الأمثلية للمشاكل [6].

3.6.1. الشكل الأبسط لخوارزمية النحل [7]:

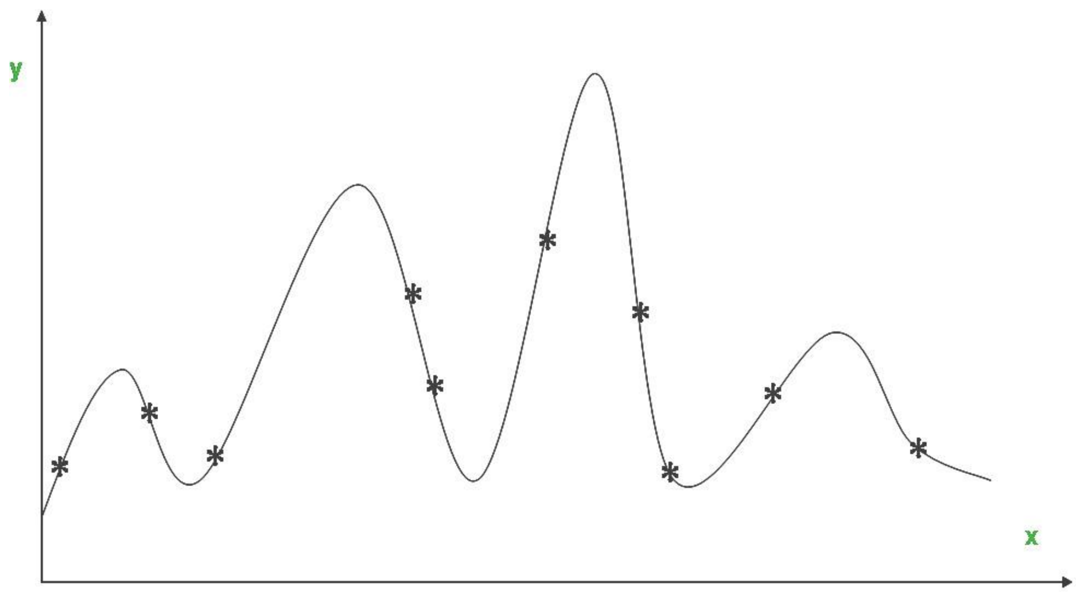
```
For i=1 to N_max
For j=1 to 1
    Forage
    Save Best  Solution
    Waggle Dance
End for
End for
```

3.6.2. مثال على خوارزمية النحل:

لنفرض أنه في خوارزمية النحل لدينا 10 نحلات شغالة n = 10 تبحث عن الحل الأمثل في فضاء من الحلول.

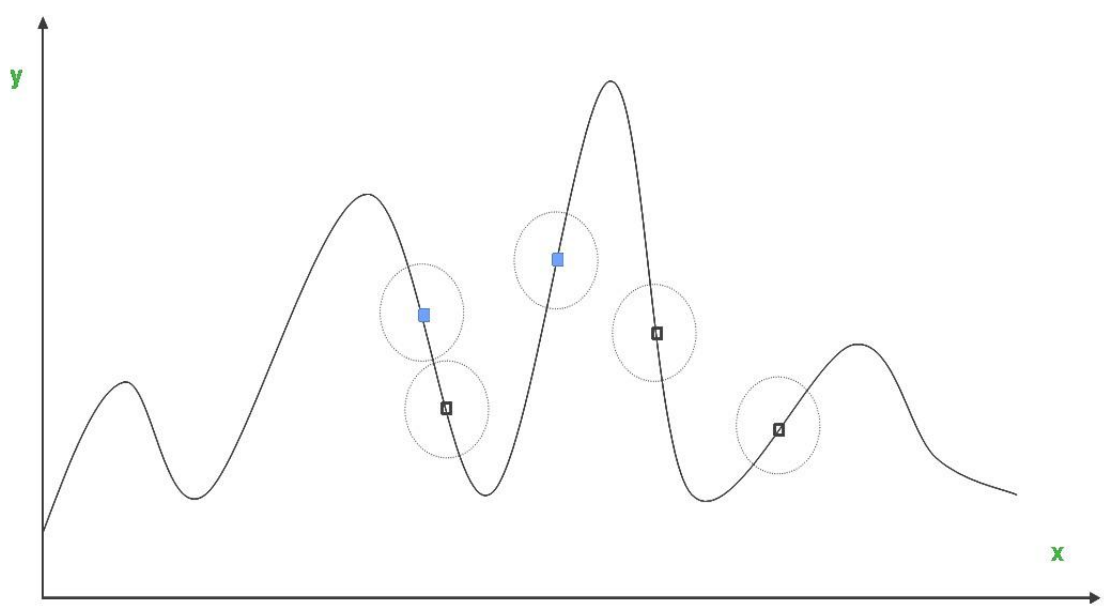
إن تسلسل عمل الخوارزمية يكون كالتالي:

1. يُجري كامل السرب المؤلف من 10 أفراد بحثاً في كامل فضاء البحث، كما هو مُبين على الشكل 3.8.



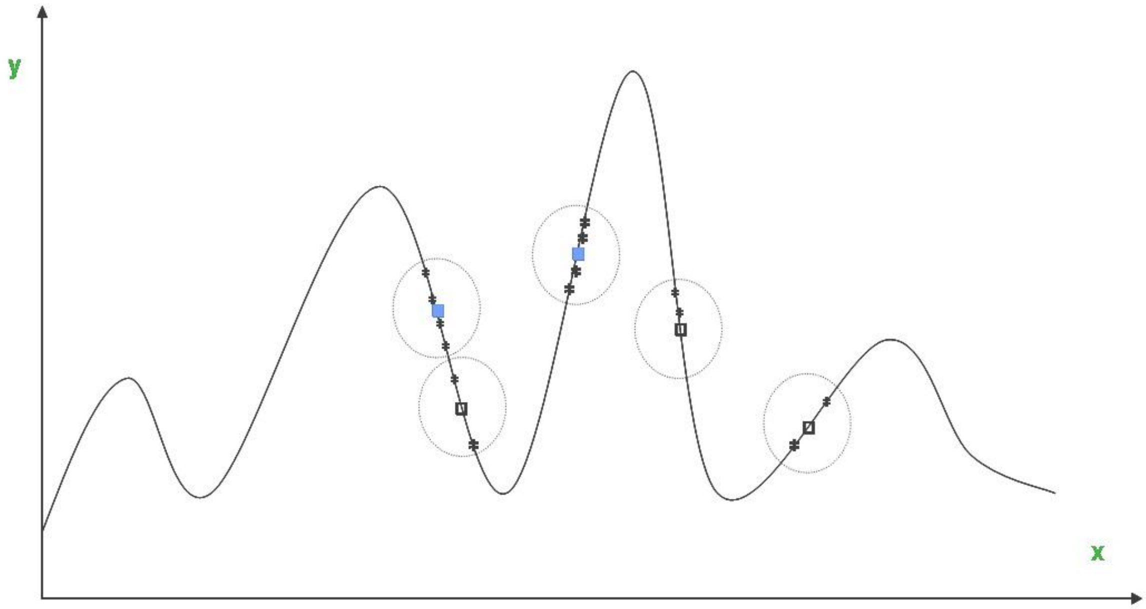
الشكل (3.8) عملية البحث الشامل في فضاء الحلول

2. إختيار أفضل 5 مواقع m = 5 والتي سيتم فيها إجراء البحث الدقيق، كما هو مُبين على الشكل 3.9.



الشكل (3.9) اختيار أفضل مواقع من عملية البحث الشامل لتنفيذ عملية البحث الدقيق

3. يتم إجراء البحث الدقيق في المواقع الخمسة المختارة، كما هو مُبين على الشكل 3.10.



الشكل (3.10) تنفيذ عملية البحث الدقيق في المواقع المختارة من عملية البحث الشامل وجوارها

4. تستمر العملية في المواقع المختارة وجوارها حتى الوصول إلى الحل الأمثلي.

3.6.3. مجالات إستخدام خوارزمية النحل:

تم الإستفادة من خوارزمية النحل في مجالات كثيرة منها [7]:

1. أمثلية تجميع العناصر الإلكترونية على الدارات المطبوعة PCBs.
2. أمثلية إيجاد الطرق الأنسب للربط بين المدن.
3. أمثلية إيصال الطرود في شركات النقل حسب مسارات أمثلية.
4. أمثلية ربط عقد شبكات الإتصال.
5. أمثلية توزيع وربط الشبكات الكهربائية.
6. أمثلية تحديد المدارات الأنسب لدوران الأقمار الاصطناعية حول الأرض.

الفصل الرابع: تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثل للدارة المطبوعة

4.1. المقدمة:

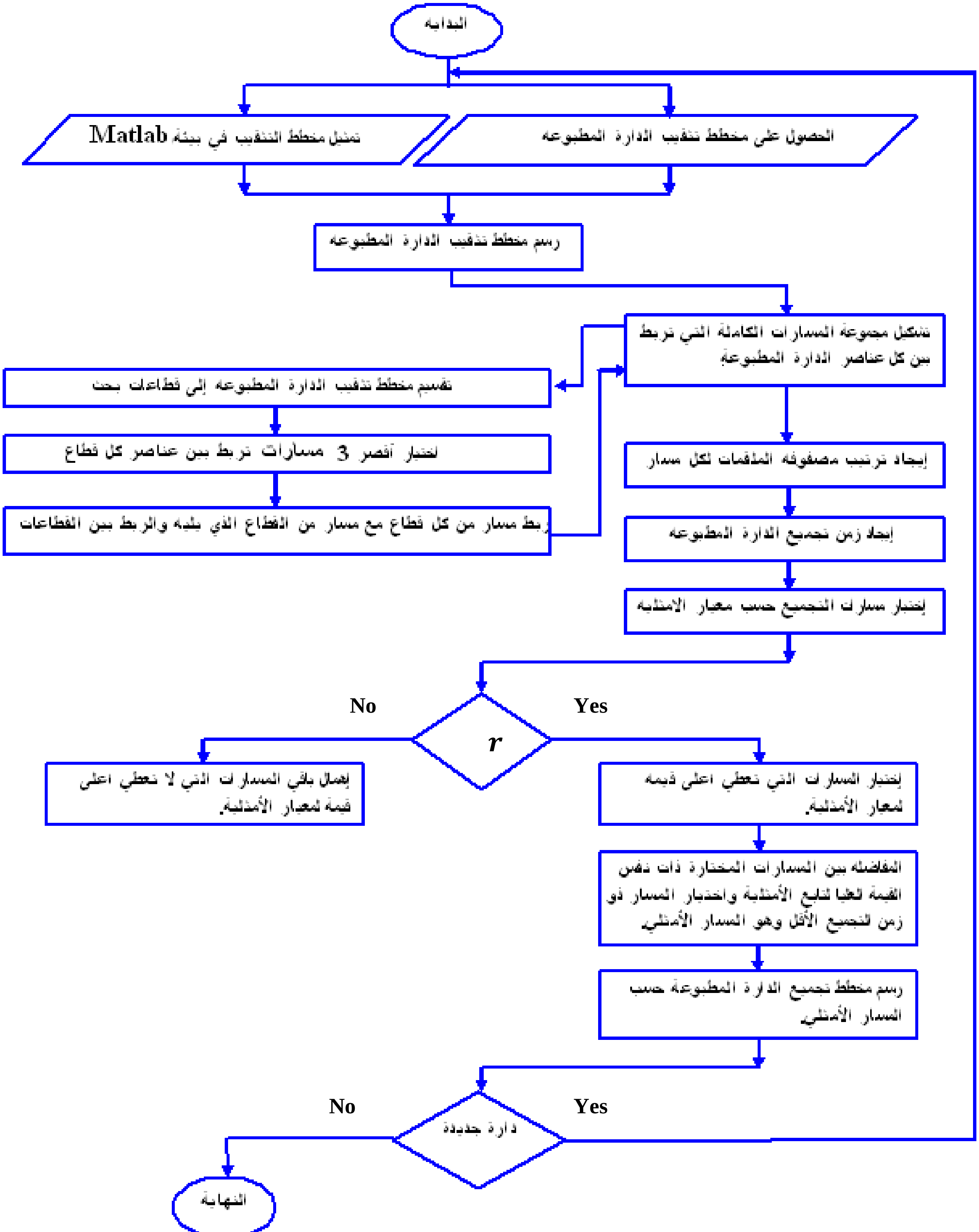
إن الهدف من هذا البحث هو الحصول على أقل زمن مُمكن لتجميع الدارة المطبوعة PCB باستخدام خوارزمية النحل، أي الحصول على المسار الأمثل الذي سيتبعه رأس التجميع في ماكينة التجميع الآلية عندما يتم وضع العناصر الإلكترونية في مواقعها على الدارة المطبوعة، ويتم التعبير عن هذا المسار بترتيب مواقع العناصر الإلكترونية على الدارة المطبوعة وترتيب تسلسل الملقمات في مصفوفة الملقمات التي تحتوي على العناصر، والمسار الأمثلي هو المسار ذو زمن التجميع الأقل، فكلما نقص زمن تجميع الدارة المطبوعة إزداد عدد الدارات المطبوعة التي يتم إنتاجها وتجميعها ، فلإذا كانت ماكينة التجميع الآلية تعمل بشكل متواصل 24 ساعة في اليوم على مدار السنة، فإن توفير كل 1 ثانية في زمن تجميع الدارة المطبوعة سيؤدي إلى زيادة عدد الدارات المطبوعة التي يتم تجميعها خلال عام بمقدار 50407 دارة مطبوعة.

4.2. مخطط تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثل للدارة المستخدمة في البحث:

عادة تُستخدم عدة أدوات برمجية في إيجاد الحلول الأمثلية باستخدام خوارزميات البحث ، وفي هذا البحث تم إستخدام برنامج Matlab 2007 a بهدف الحصول على الحل الأمثل في تجميع الدارة المطبوعة المُستخدمة في البحث لما يوفره هذا البرنامج من إمكان السرعة في تنفيذ التعليمات والوصول إلى الحل الأمثل المرغوب بالإضافة إلى ما يُوفره من بيئة محاكاة تُساعد على فهم مراحل تنفيذ التعليمات.

إن تسلسل تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثل للدارة المطبوعة كما هو مبين على الشكل 4.1 يُمكن تلخيصه بالمراحل التالية:

1. الحصول على مخطط تثقيب الدارة المطبوعة المستخدمة في البحث.
2. تمثيل مواقع توضع العناصر على الدارة المطبوعة كنقاط إحداثية في بيئة الماتلاب Matlab.
3. رسم مخطط تثقيب الدارة المطبوعة في بيئة Matlab.
4. تقسيم الدارة المطبوعة إلى قطاعات بحث لإجراء عملية البحث الدقيق.
5. تشكيل مجموعة المسارات الكاملة المتاحة للربط بين كل العناصر في الدارة المطبوعة.
6. إيجاد المسار الأمثل لتجميع الدارة المطبوعة.



الشكل (4.1) المخطط التدفقي لعمل البرنامج bees_algorithm

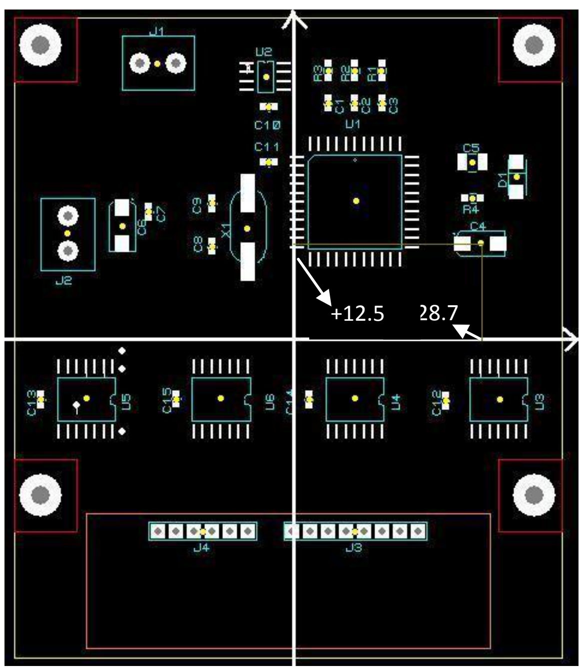
4.2.1. الحصول على مخطط تثقيب الدارة المطبوعة المستخدمة في البحث:

بعد طباعة وتثقيب الدارة المطبوعة يكون قد تحدد وبدقة مواقع توضع العناصر عليها والنواقل النحاسية التي ستنقل الإشارات بين العناصر، وتنتقل الدارة المثقبة بعدها إلى المرحلة التالية وهي مرحلة التجميع، ويكون مخطط تثقيب الدارة عادة مُصمم بإحدى برمجيات تصميم الدارات المطبوعة مثل Proteus، Eagle وغيرها من البرمجيات المختلفة.

4.2.2. تمثيل مواقع توضع العناصر على الدارة المطبوعة كنقاط إحداثية في بيئة الماتلاب Matlab:

بعد الحصول على مخطط تثقيب الدارة المطبوعة المُستخدمة في البحث كمخطط Proteus يتم إيجاد إحداثيات كل موقع من مواقع العناصر C_i من خلال إيجاد المسقط الأفقي والمسقط العمودي لموقع العنصر، والإحداثيات الناتجة يتم تطبيقها في برنامج الماتلاب لتمييز مواقع العناصر عن بعضها لاحقاً عند تنفيذ تعليمات البرنامج.

عند إيجاد إحداثيات مواقع العناصر يتم دائماً ضبط مركز الإحداثيات في مخطط Proteus بأن يكون مركز الإحداثيات هو مركز الدارة المطبوعة، كما هو مبين على الشكل 4.2.



الشكل (4.2) تحديد مركز الإحداثيات بالنسبة للدارة المطبوعة

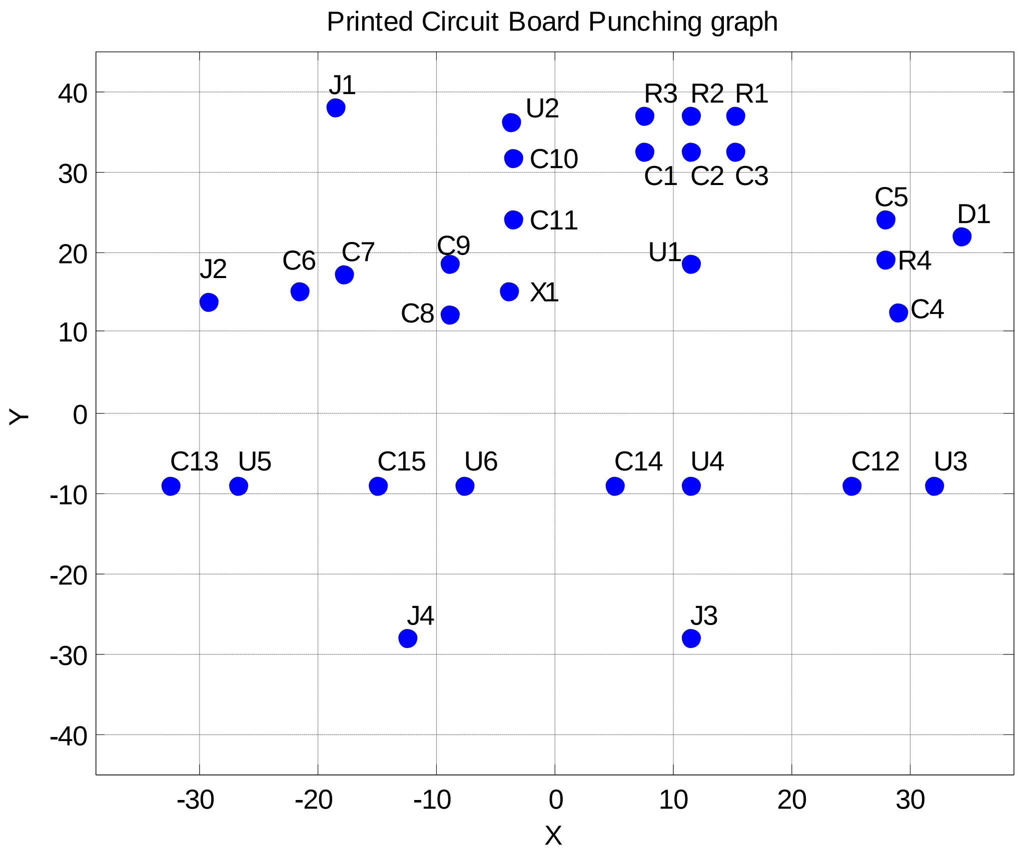
يتم إيجاد المسقط الأفقي والمسقط العمودي لكل موقع عنصر بعد ضبط مركز الإحداثيات، فمثلاً إحداثيات موقع المكثفة C_4 بالنسبة لمركز الإحداثيات ستكون mm(+28.75,12.5) حيث يكون تدريج مخطط التثقيب بالميلليمتر، ويُعتبر مركز موقع العنصر كمؤشر على تحديد إحداثياته. بعد الحصول على إحداثيات كافة مواقع العناصر يتم تخزينها في الملف المعنون بإسم data والذي سيُعتبر كملف لبارامترات البرنامج، ويُبين الجدول 4.1 الإحداثيات الناتجة لمواقع العناصر والمُخزنة في الملف data، ولتسهيل تمييز الإحداثيات تم إعطاء أرقام تسلسلية لمواقع العناصر.

الإحداثيات	المسقط العمودي	المسقط الأفقي	العنصر	الرقم التسلسلي
(+28,+24.13)	24.13	28	C5	1
(+34.29,+22)	22	34.29	D1	2
(+28,+19.050)	19.050	28	R4	3
(+29,+12.5)	12.5	29	C4	4
(+32,-9)	-9	32	U3	5
(+25,-9)	-9	25	C12	6
(+11.43,-9)	-9	11.43	U4	7
(+11.43,-27.94)	-27.94	11.43	J3	8
(+5,-9)	-9	5	C14	9
(-7.62,-9)	-9	-7.62	U6	10
(-12.5,-27.94)	-27.94	-12.5	J4	11
(-15,-9)	-9	-15	C15	12
(-26.67,-9)	-9	-26.67	U5	13
(-32.5,-9)	-9	-32.5	C13	14
(-29.2,+13.75)	13.75	-29.2	J2	15
(-21.56,+15)	15	-21.56	C6	16
(-17.78,+17.25)	17.25	-17.78	C7	17
(-8.89,+18.542)	18.542	-8.89	C9	18
(-8.89,+12.25)	12.25	-8.89	C8	19
(-3.81,+15)	15	-3.81	X1	20
(-3.5,+24.14)	24.14	-3.5	C11	21
(-3.5,+31.75)	31.75	-3.5	C10	22
(-18.5,+38.1)	38.1	-18.5	J1	23
(-3.75,+36.25)	36.25	-3.75	U2	24
(+7.62,+37)	37	7.62	R3	25
(+11.43,+37)	37	11.43	R2	26
(+15.24,+37)	37	15.24	R1	27
(+15.24,+32.5)	32.5	15.24	C3	28
(+11.43,+32.5)	32.5	11.43	C2	29
(+7.62,+32.5)	32.5	7.62	C1	30
(+11.43,+18.542)	18.542	11.43	U1	31

الجدول (4.1) إحداثيات مواقع العناصر على الدارة المطبوعة

4.2.3. رسم مخطط تثقيب الدارة المطبوعة في بيئة Matlab:

بالإعتماد على البيانات المُخزنة في الملف data يتم إستدعاء البرنامج الفرعي proga لرسم مخطط تثقيب الدارة المطبوعة والذي بدوره يستدعي التابع pcbgraph لإنجاز المخطط المطلوب، ويكون مخطط الدارة المطبوعة في بيئة Matlab كما هو مُبين على الشكل 4.3، حيث تُعبر النقاط الزرقاء عن مواقع توضع العناصر على الدارة المطبوعة.



الشكل (4.3) مخطط تثقيب الدارة المطبوعة المستخدمة في البحث في بيئة Matlab

4.2.4. تقسيم الدارة المطبوعة إلى قطاعات بحث لإجراء عملية البحث الدقيق:

ذكرنا سابقاً أن الدارة المطبوعة تُحاكي حقل الأزهار التي يتم تقسيمه من قبل سرب النحل الكشاف إلى قطاعات بحث بحيث ينقسم السرب إلى مجموعات لتُنفذ كل مجموعة عملية بحث دقيق في قطاع ما من هذه القطاعات.

حسب خوارزمية النحل يوجد معيارين أساسيين لعملية تقسيم فضاء البحث إلى قطاعات [7]:

1. عدد أفراد سرب النحل الكشاف يساوي ضعفي عدد مواقع الغذاء.
2. يقسم فضاء البحث إلى قطاعات بحيث يكون عدد القطاعات مساوياً 10% من عدد أفراد السرب الكشاف.

الدارة المستخدمة في البحث مؤلفة من 31 عنصر واستناداً إلى هذين المعيارين:

1. تضبط خوارزمية النحل بحيث يكون عدد أفراد السرب 62.
2. تقسم الدارة المطبوعة إلى 6 قطاعات بحث.

وتعتمد آلية تقسيم الدارة المطبوعة إلى قطاعات بحث على المعايير التالية:

1. تقسيم الدارة المطبوعة إلى قطاعات بحيث يحتوي كل قطاع على 6 مواقع C_i كحد أقصى.

2. العناصر الأقرب من بعضها والمتجاورة جداً هي التي تُوضع في قطاع واحد.

3. يجب أن يكون كل قطاع أقرب ما يكون إلى القطاع الذي يليه.

4. يوجد في كل قطاع عنصر بداية القطاع وعنصر نهاية القطاع.

5. عنصر نهاية كل قطاع سيليه في التجميع مباشرة عنصر بداية القطاع الذي يليه.

6. يجب أن يكون عنصر نهاية كل قطاع أقرب ما يكون إلى عنصر بداية القطاع التالي.

7. عنصر البداية في القطاع الأول يُعتبر دائماً هو موقع العنصر الأول C_1، وهو موقع العنصر الذي ستبدأ به عملية التجميع.

8. عنصر نهاية القطاع الأخير يُعتبر دائماً هو موقع العنصر الأخير C_n أي C_{31}، وهو موقع العنصر الذي ستنتهي به عملية التجميع.

9. عند إنتهاء كل عملية تجميع يكون رأس التجميع الواضع لماكينة التجميع عمودياً على موقع عنصر نهاية القطاع الأخير أي موقع العنصر الأخير C_{31}.

10. يُعتبر موقع العنصر الأخير $C_n = C_{31}$ في الدارة السابقة التي إنتهى تجميعها هو موقع بداية التجميع C_0 للدارة الجديدة التي سيتم تجميعها بعد إنتهاء تجميع الدارة السابقة.

11. موقع عنصر نهاية القطاع الأخير (موقع العنصر الأخير) $C_0 = C_{31}$ يجب أن يكون أقرب ما يكون لموقع بداية القطاع الأول (موقع العنصر الأول) C_1.

يستدعي البرنامج proga التوابع الفرعية distance, array2, array لحساب المسافة بين كل عنصر في الدارة المطبوعة وباقي العناصر باستخدام التوابع، حيث:

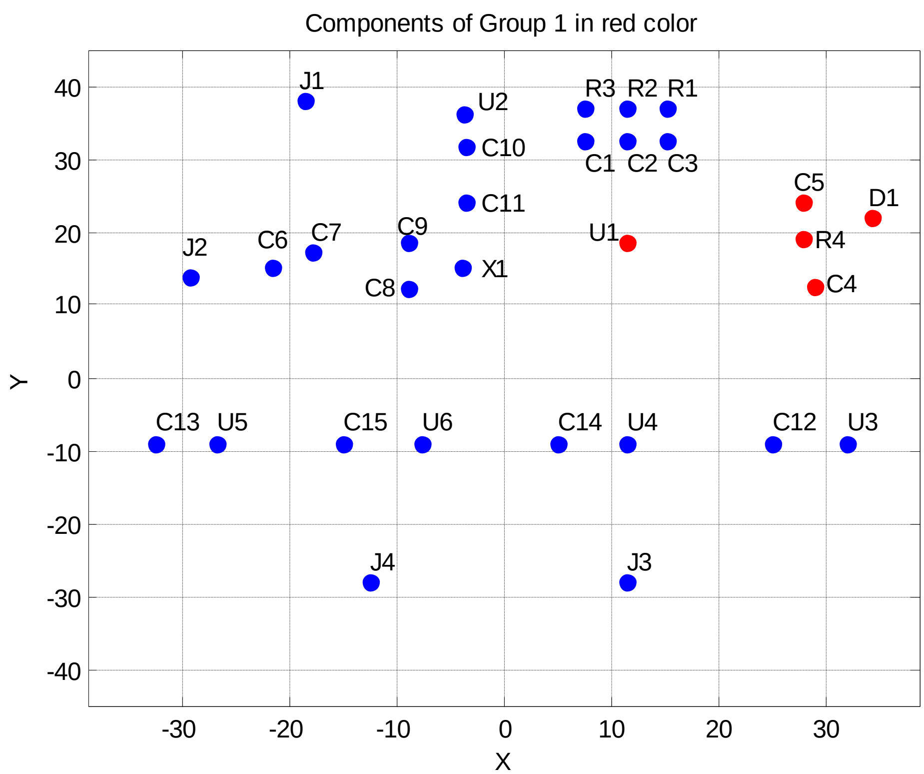
array: برنامج يحسب بُعد موقع كل عنصر من العناصر عن باقي عناصر الدارة ويضع الأبعاد الناتجة في مصفوفة 31X30 مع إهمال بُعد العنصر عن نفسه.

array2: برنامج يحسب بُعد موقع كل عنصر من العناصر عن باقي عناصر الدارة ويضع الأبعاد الناتجة في مصفوفة 31X31 بدون إهمال بُعد العنصر عن نفسه.

distance: برنامج فرعي يحسب المسافة بين نقطتين ويتم إستدعائه لحساب المسافة بين موقع عنصر من الدارة المطبوعة وموقع العنصر الذي سيليه في عملية التجميع.

ويتم التعبير عن كل قطاع والعناصر المؤلفة له وأقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر كل قطاع باستخدام التوابع proag حيث:

البرنامج proag1 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع الأول في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group1_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة arr، ويُبين الشكل 4.4 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.4) مخطط يبين توضع عناصر القطاع الأول في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag1 التابع الفرعي ag1 لحساب كل الاطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الأول ويضعها في مصفوفة group1_tracks.

group1_tracks =

37.010	40.3878	41.4668	46.8204	39.1722	41.8390

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الأول وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group1_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.5.

l1min= 37.7010 mm , ar_l1min= 1.

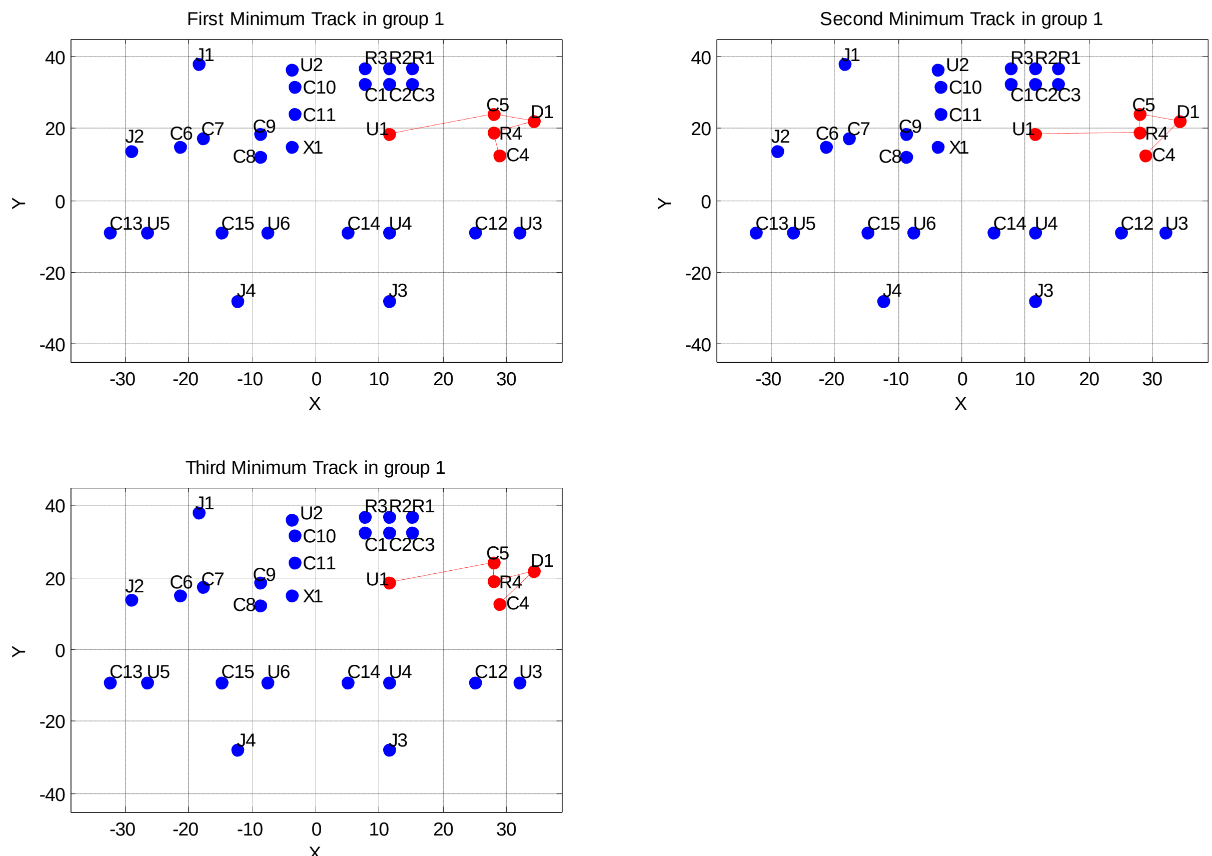
l2min= 39.1722 mm, ar_l2min= 5.

l3min= 40.3878 mm, ar_l3min= 2.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الأول، وترتيبه هو ar_l1min= 1.

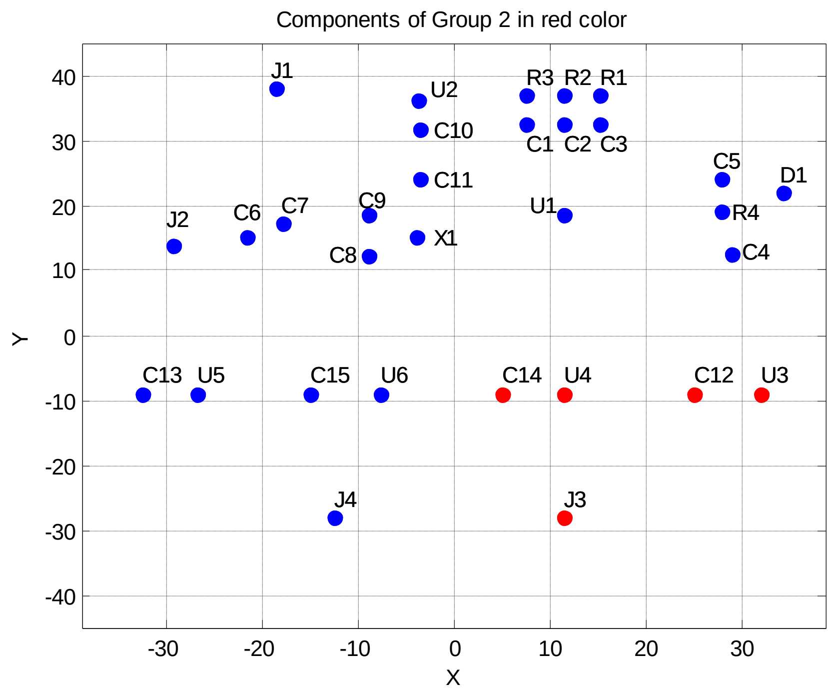
l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الأول، وترتيبه هو ar_l2min= 5.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الأول، وترتيبه هو ar_l3min= 2.



الشكل (4.5) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع الأول في بيئة Matlab

البرنامج proag2 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع الثاني في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group2_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة arr، ويُبين الشكل 4.6 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.6) مخطط يبين توضع عناصر القطاع الثاني في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag2 التابع الفرعي ag2 لحساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الثاني ويضعها في مصفوفة group2_tracks.

group2_tracks =

59.5117 55.6695 77.4413 82.8095 71.2611 80.4716

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الثاني وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group2_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.7.

l1min= 55.6695mm, ar_l1min= 2.

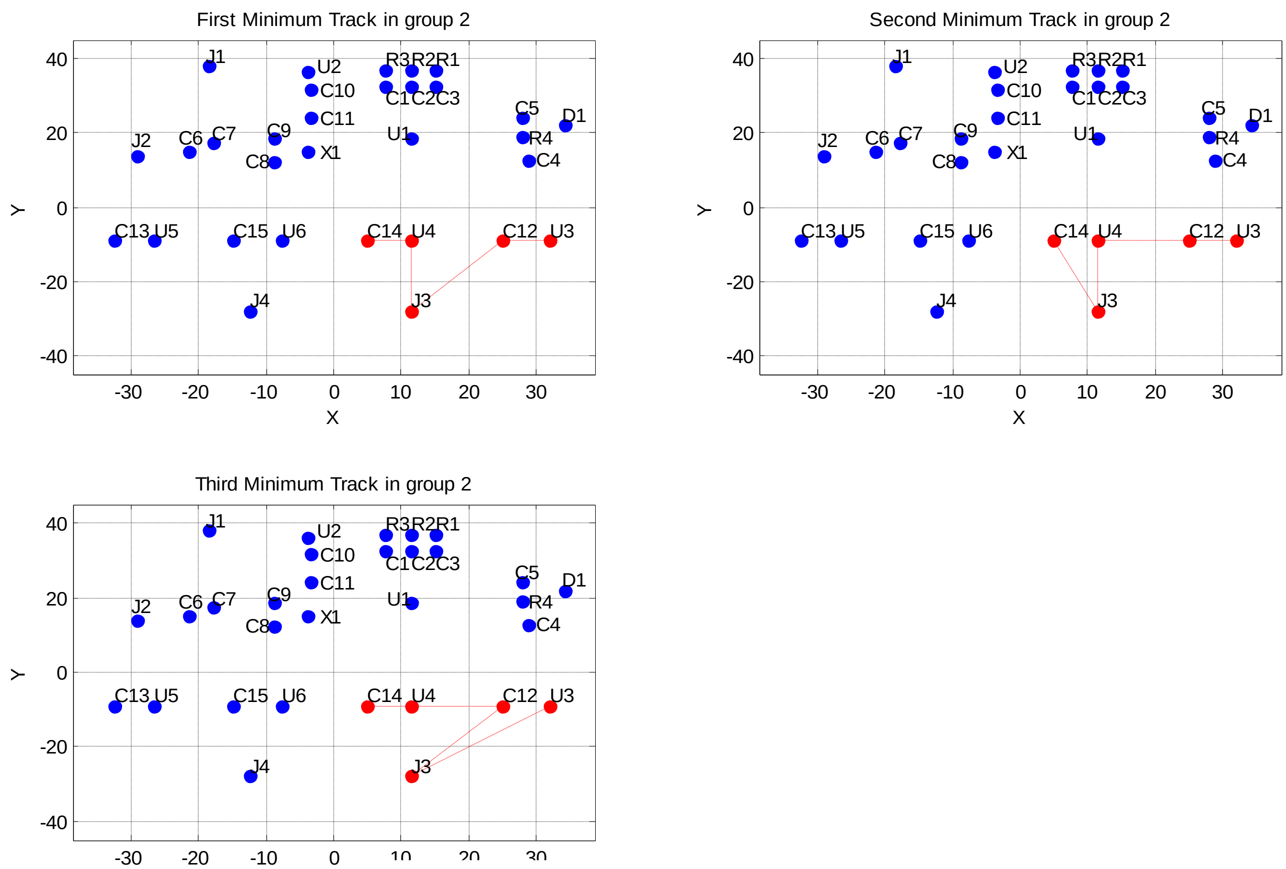
l2min= 59.5117 mm, ar_l2min= 1.

l3min= 71.2611 mm, ar_l3min= 5.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثاني، وترتيبه هو ar_l1min= 2.

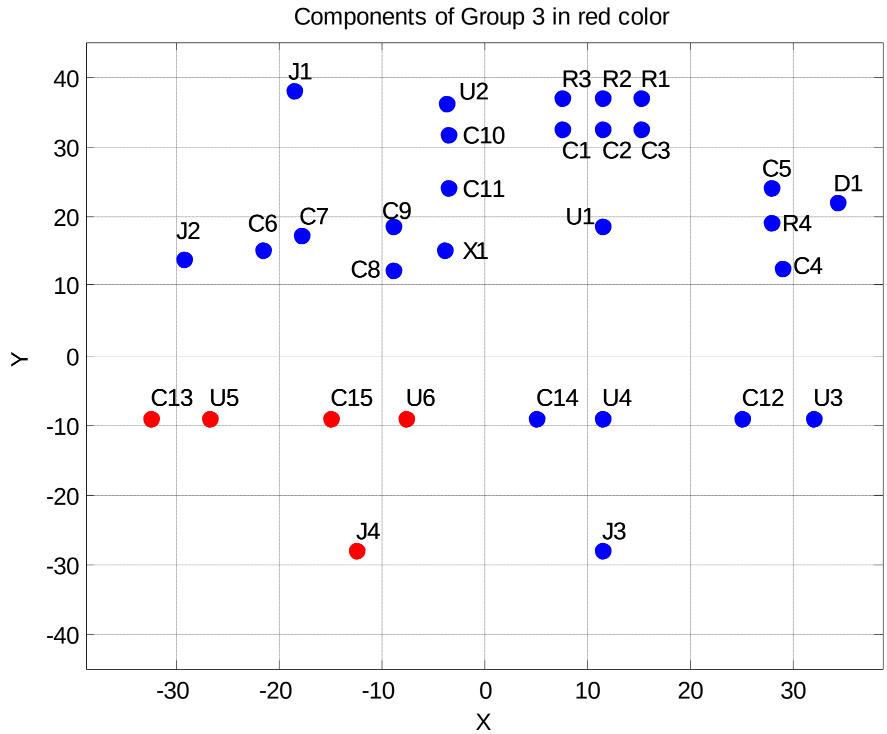
l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثاني، وترتيبه هو ar_l2min= 1.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثاني، وترتيبه هو ar_l3min= 5.



الشكل (4.7) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع الثاني في بيئة Matlab

البرنامج proag3 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع الثالث في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group3_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة arr، ويُبين الشكل 4.8 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.8) مخطط يبين توضع عناصر القطاع الثالث في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag3 التابع الفرعي ag3 لحساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الثالث ويضعها في مصفوفة group3_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.9.

group3_tracks =

56.1629 72.3826 55.9683 70.2490 79.3083 77.3692

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الثالث وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group3_tracks.

l1min= 55.9683, ar_l1min= 3.

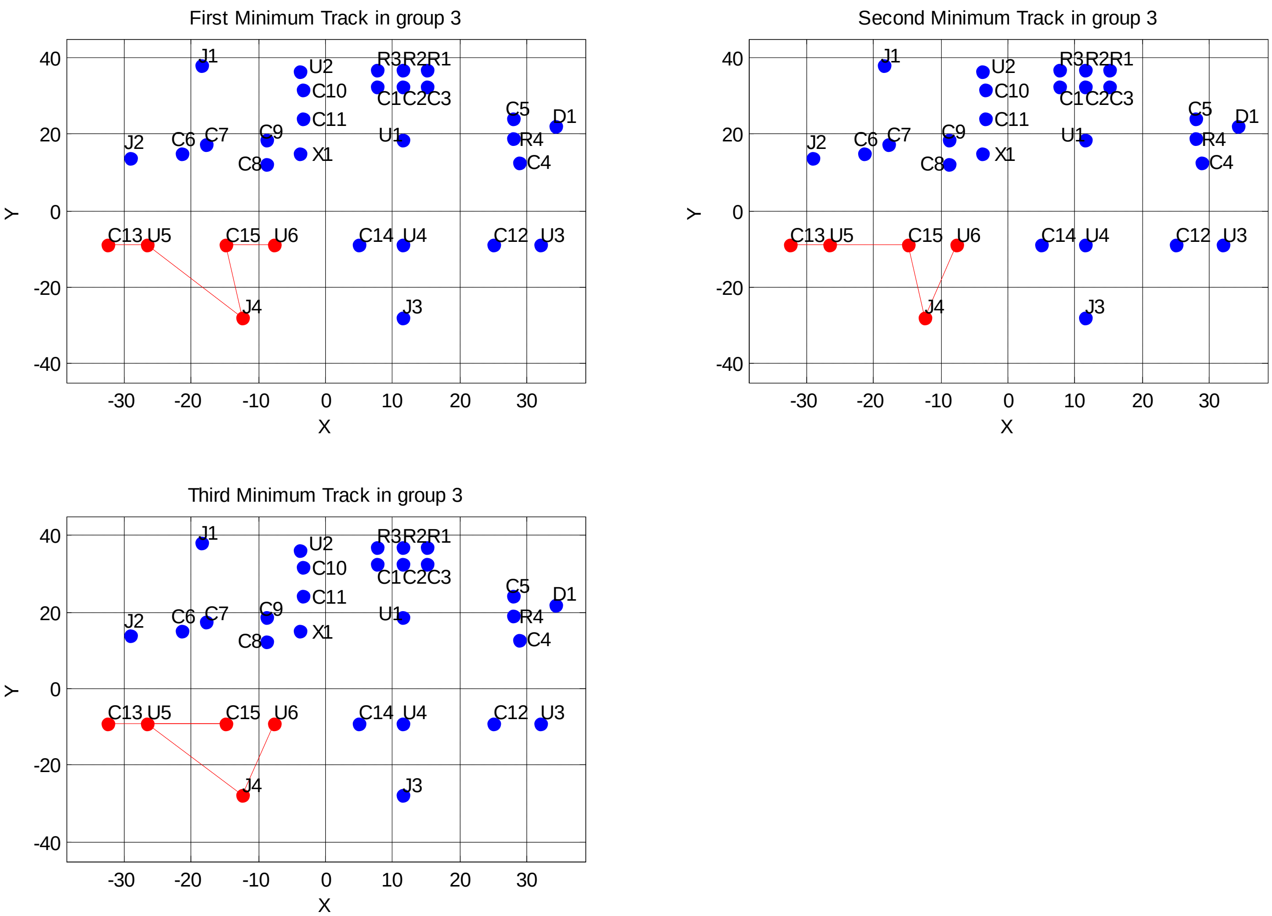
l2min= 56.1629, ar_l2min= 1.

l3min= 70.2490 , ar_l3min= 4.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثالث، وترتيبه هو ar_l1min= 3.

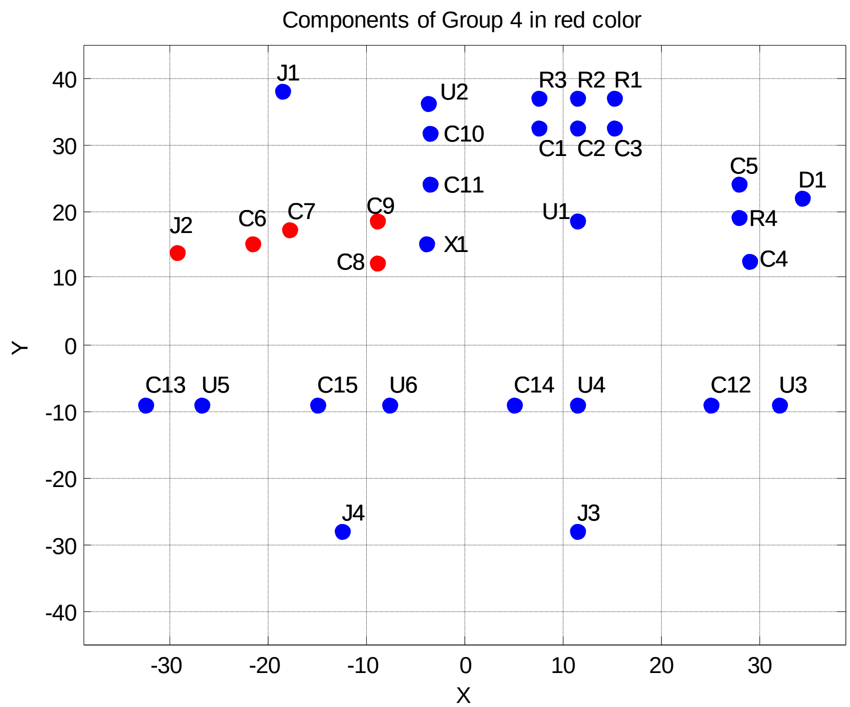
l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثالث، وترتيبه هو ar_l2min= 1.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الثالث، وترتيبه هو ar_l3min= 4.



الشكل (4.9) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع الثالث في بيئة Matlab

البرنامج proag4 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع الرابع في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group4_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة group4_tracks، ويُبين الشكل 4.10 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.10) مخطط يبين توضع عناصر القطاع الرابع في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag4 التابع الفرعي ag4 لحساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الرابع ويضعها في مصفوفة group4_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.11.

group4_tracks =

27.4159 40.0804 35.7911 47.0485 48.6220 47.2150

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الرابع وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group4_tracks.

l1min= 27.4159, ar_l1min= 1.

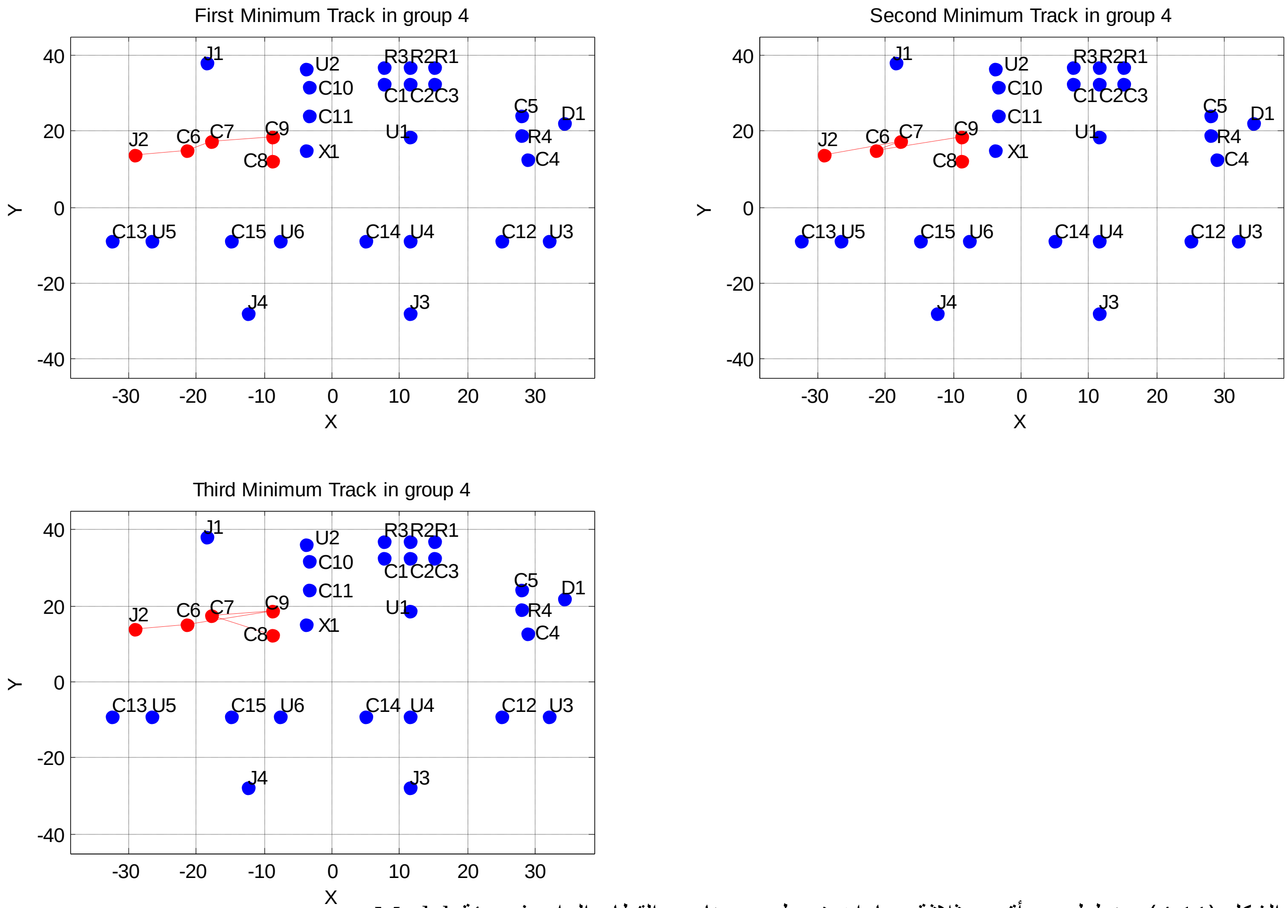
l2min= 35.7911, ar_l2min= 3.

l3min= 40.0804 , ar_l3min= 2.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الرابع، وترتيبه هو ar_l1min= 1.

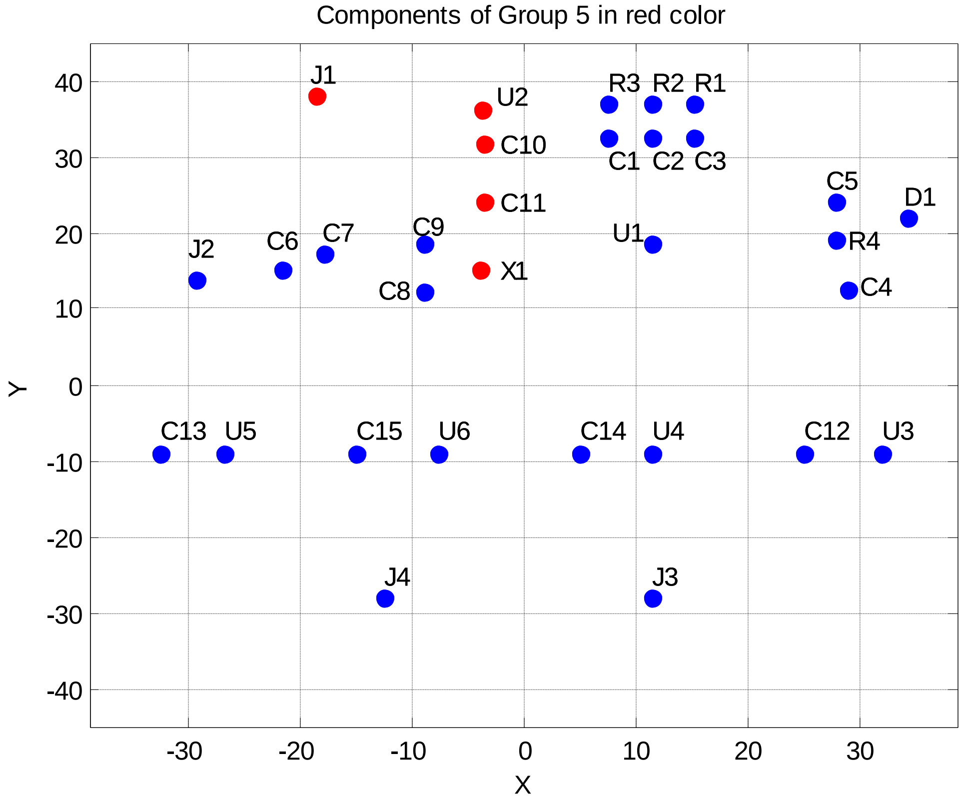
l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الرابع، وترتيبه هو ar_l2min= 3.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الرابع، وترتيبه هو ar_l3min= 2.



الشكل (4.11) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع الرابع في بيئة Matlab

البرنامج proag5 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع الخامس في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group5_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة group5_tracks، ويُبين الشكل 4.12 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.12) مخطط يبين توضع عناصر القطاع الخامس في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag5 التابع الفرعي ag5 لحساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الخامس ويضعها في مصفوفة group5_tracks.

group5_tracks =

47.9095 50.4288 59.7363 65.6620 60.0000 63.4066

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع الخامس وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group5_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.13.

l1min= 47.9095, ar_l1min= 1.

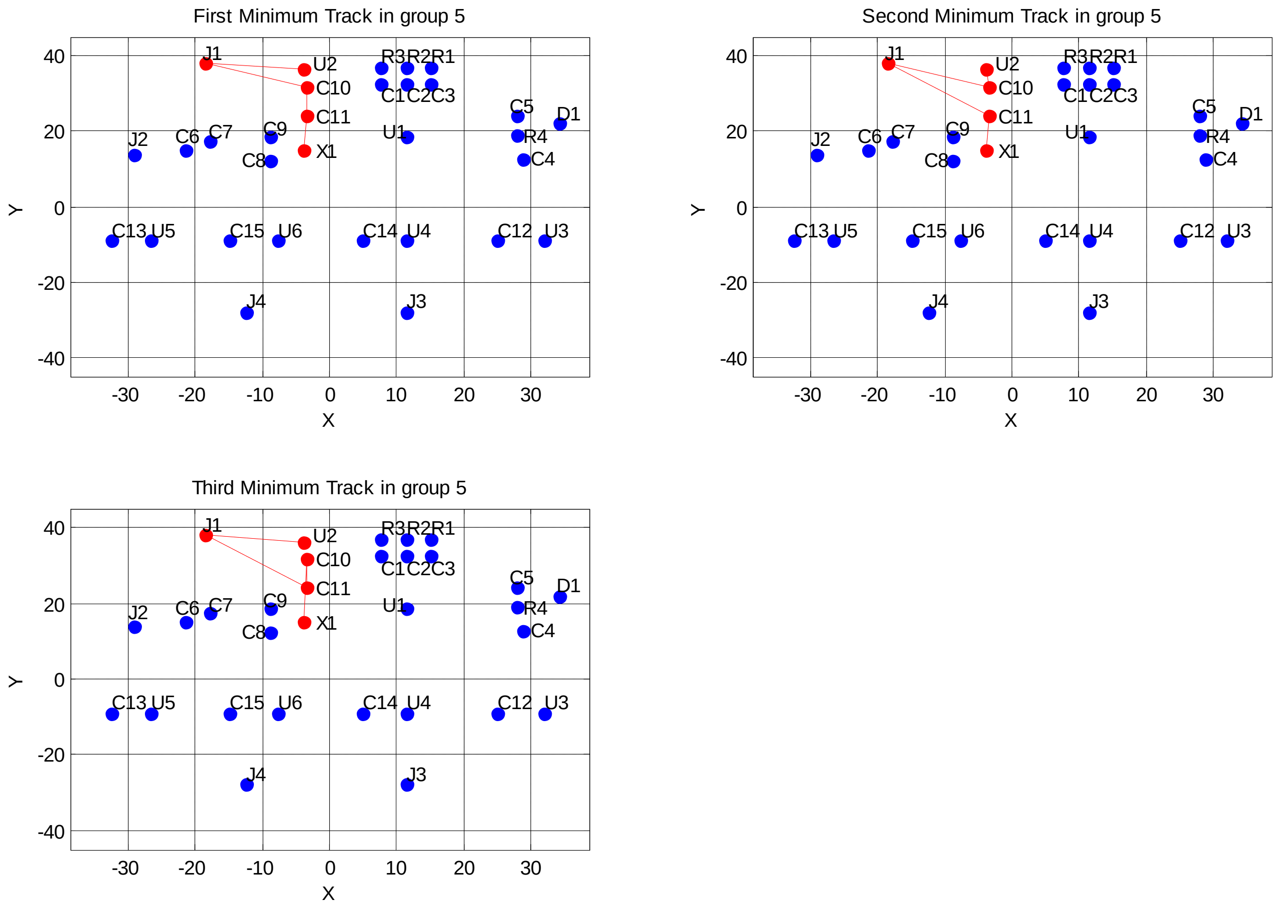
l2min= 50.4288, ar_l2min= 2.

l3min= 59.7363 , ar_l3min= 3.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الخامس، وترتيبه هو ar_l1min= 1.

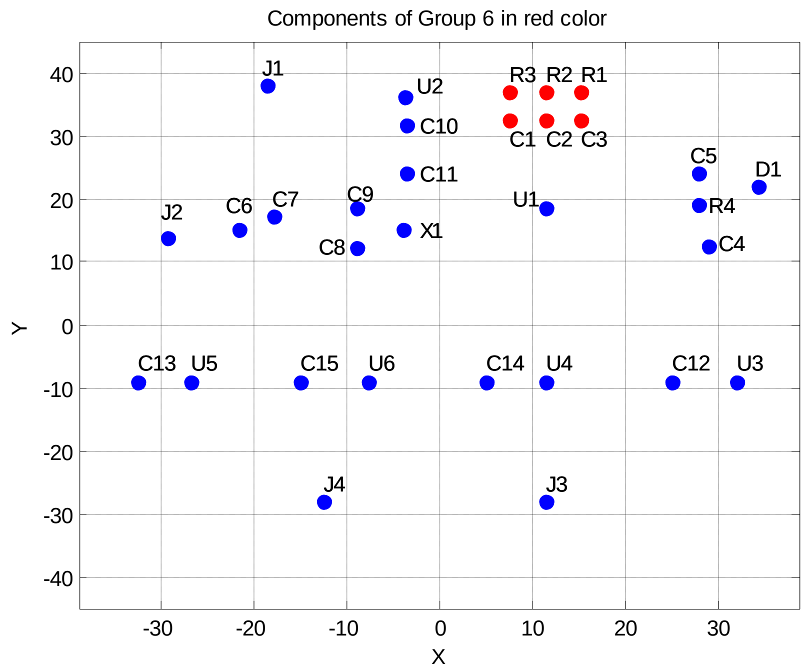
l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الخامس، وترتيبه هو ar_l2min= 2.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع الخامس، وترتيبه هو ar_l3min= 3.



الشكل (4.13) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع الخامس في بيئة Matlab

البرنامج proag6 يرسم مخطط الدارة المطبوعة والعناصر المؤلفة للقطاع السادس في المخطط Figure1 ويحسب أطوال كل المسارات المتاحة التي تربط بين عناصر القطاع ويخزنها في المصفوفة group6_tracks ويختار منها أقصر ثلاثة مسارات ويرسمها في المخطط Figure2 ويُعبر عن طول كل مسار من هذه المسارات الثلاثة الناتجة وترتيبها من المصفوفة group6_tracks، ويُبين الشكل 4.14 المخطط الناتج في Figure1.



الشكل (4.14) مخطط يبين توضع عناصر القطاع السادس في بيئة Matlab

يستدعي البرنامج proag6 التابع الفرعي ag6 لحساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع السادس ويضعها في مصفوفة group6_tracks.

group6_tracks =

19.7400	24.9463	23.9126	28.2621	26.3263	25.4695
24.9463	27.3600	26.3263	26.3263	31.5326	29.1188
28.2621	33.9916	25.4695	29.6421	29.8191	28.26.21
26.3263	29.6421	29.1188	28.0851	28.2621	23.9126

ثم يُوجد أقصر ثلاثة مسارات من بين المسارات الستة المتاحة للربط بين عناصر القطاع السادس وترتيب هذه المسارات الثلاثة في المصفوفة group6_tracks، ويرسمها كما هو مُبين على الشكل 4.15.

l1min= 19.7400, ar_l1min= 1.

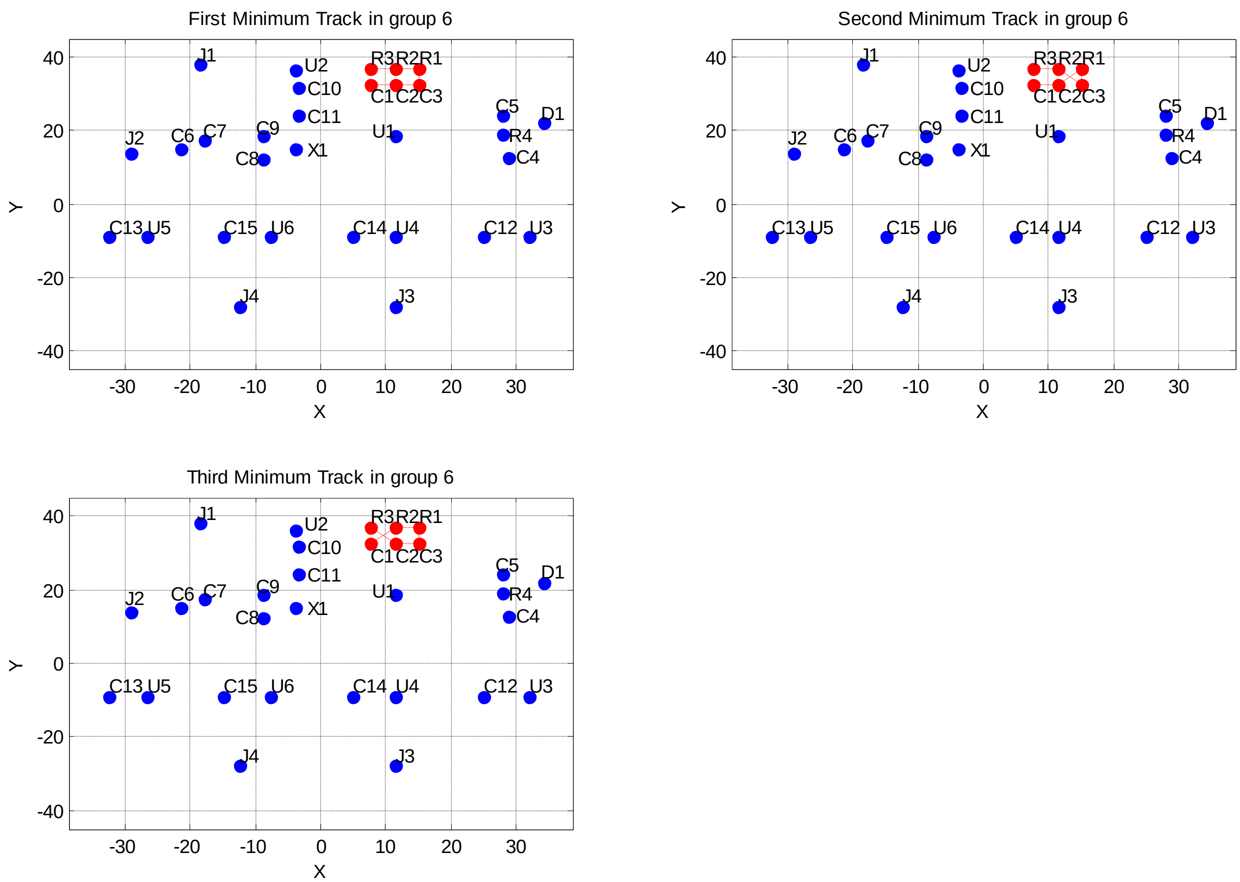
l2min= 23.9126, ar_l2min= 3.

l3min= 23.9126 , ar_l3min= 24.

l1min: أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع السادس، وترتيبه ar_l1min= 1.

l2min: ثاني أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع السادس، وترتيبه هو ar_l2min= 3.

l3min: ثالث أقصر مسار يصل بين عناصر القطاع السادس، وترتيبه هو ar_l3min= 24.



الشكل (4.15) مخطط يبين أقصر ثلاثة مسارات تربط بين عناصر القطاع السادس في بيئة Matlab

تُشير النقاط الحمراء إلى مواقع العناصر المؤلفة للقطاعات وتُرسم هذه النقاط باستخدام التابع compgraph، بينما تُشير النقاط الزرقاء إلى مواقع بقية العناصر على الدارة المطبوعة، وهذه النقاط الزرقاء تُرسم باستخدام التابع pcbgraph، ويُعبر الخط الأحمر عن خط النقل الواصل بين كل عنصر والعنصر الذي يليه في عملية التجميع، ويتم رسم هذا الخط باستخدام التابع line.

يتم إستدعاء البرنامج as من قبل البرامج ag1,ag2,ag3,ag4,ag5 للمساعدة في حساب كل الأطوال الستة المتاحة للربط بين العناصر الخمسة في القطاعات الخمسة المؤلف كل منها من 5 عناصر، والبرنامج as يستدعي بدوره البرنامج dist للمساعدة في إيجاد الطول الكلي للمسار الذي يربط بين كل عناصر القطاع في القطاعات الخمسة الأولى، بينما يتم إستدعاء البرنامج as_g6 من قبل البرنامج ag6 للمساعدة في حساب كل الأطوال الأربعة والعشرين المتاحة للربط بين العناصر الستة في القطاع السادس، والبرنامج as_g6 يستدعي بدوره البرنامج dist_g6 للمساعدة في إيجاد الطول الكلي للمسار الذي يربط بين كل عناصر القطاع السادس المؤلف من ستة عناصر، ومن أجل تخزين معطيات المسارات الثلاثة الأقصر التي تصل بين عناصر كل قطاع يُستخدم البرنامج tracks والذي يستدعي البرامج ag1, ag2, ag3, ag4,

ag5, ag6, proag1, proag2, proag3, proag4, proag5, proag6 من أجل الحصول على أقصر ثلاثة مسارات في كل قطاع وتخزين بياناتها في ثلاث مصفوفات:

tr1: ذات سطر واحد وستة أعمدة وكل عمود يُعبر عن قطاع من القطاعات الستة وهذه المصفوفة تحتوي على طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع.

tr1=

37.7010	55.6695	55.9683	27.4159	47.9095	19.7400

العمود الأول ذو القيمة 37.7010 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الأول.

العمود الثاني ذو القيمة 55.6695 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثاني.

العمود الثالث ذو القيمة 55.9683 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثالث.

العمود الرابع ذو القيمة 27.4159 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الرابع.

العمود الخامس ذو القيمة 47.9095 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الخامس.

العمود السادس ذو القيمة 19.7400 يُعبر عن طول أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع السادس.

tr2=

39.1722	59.5117	56.1629	35.7911	50.4288	23.9126

العمود الأول ذو القيمة 39.1722 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الأول.

العمود الثاني ذو القيمة 59.5117 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثاني.

العمود الثالث ذو القيمة 56.1629 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثالث.

العمود الرابع ذو القيمة 35.7911 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الرابع.

العمود الخامس ذو القيمة 50.4288 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الخامس.

العمود السادس ذو القيمة 23.9126 يُعبر عن طول ثاني أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع السادس.

tr3=

40.3878	71.2611	70.2490	40.0804	59.7363	23.9126

العمود الأول ذو القيمة 40.3878 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الأول.

العمود الثاني ذو القيمة 71.2611 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثاني.

العمود الثالث ذو القيمة 70.2490 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الثالث.

العمود الرابع ذو القيمة 40.0804 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الرابع.

العمود الخامس ذو القيمة 59.7363 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع الخامس.

العمود السادس ذو القيمة 23.9126 يُعبر عن طول ثالث أقصر مسار يربط بين عناصر القطاع السادس.

4.2.5. تشكيل مجموعة المسارات الكاملة المتاحة للربط بين كل العناصر في الدارة المطبوعة:

من أجل تشكيل مسار التجميع الكلي الذي يضع كل عناصر الدارة المطبوعة في مواقعها يُستخدم البرنامج disg والذي يستدعي التابعين tracks وdisg7 للمساعدة في تشكيل هذه المسارات.

قبل تشكيل المسار الكامل للربط بين العناصر يجب الربط بين كل قطاع والقطاع الذي يليه في عملية التجميع وحساب المسافة التي تصل بين عنصر نهاية كل قطاع والقطاع الذي يليه، ولهذه العملية يُستخدم البرنامج groupsconnect والذي يحسب المسافات التي تفصل بين القطاعات المتتالية ومجموعها، وتكون:

DG1_G2= 21.7083 mm.

DG2_G3= 12.6200 mm.

DG3_G4= 22.9881 mm.

DG4_G5= 5.7766 mm.

DG5_G6= 11.3947 mm.

DG6_G1= 14.4687 mm.

TOTAL: 88.9563 mm.

DG1_G2: المسافة بين عنصر نهاية القطاع الأول وعنصر بداية القطاع الثاني.

DG2_G3: المسافة بين عنصر نهاية القطاع الثاني وعنصر بداية القطاع الثالث.

DG3_G4: المسافة بين عنصر نهاية القطاع الثالث وعنصر بداية القطاع الرابع.

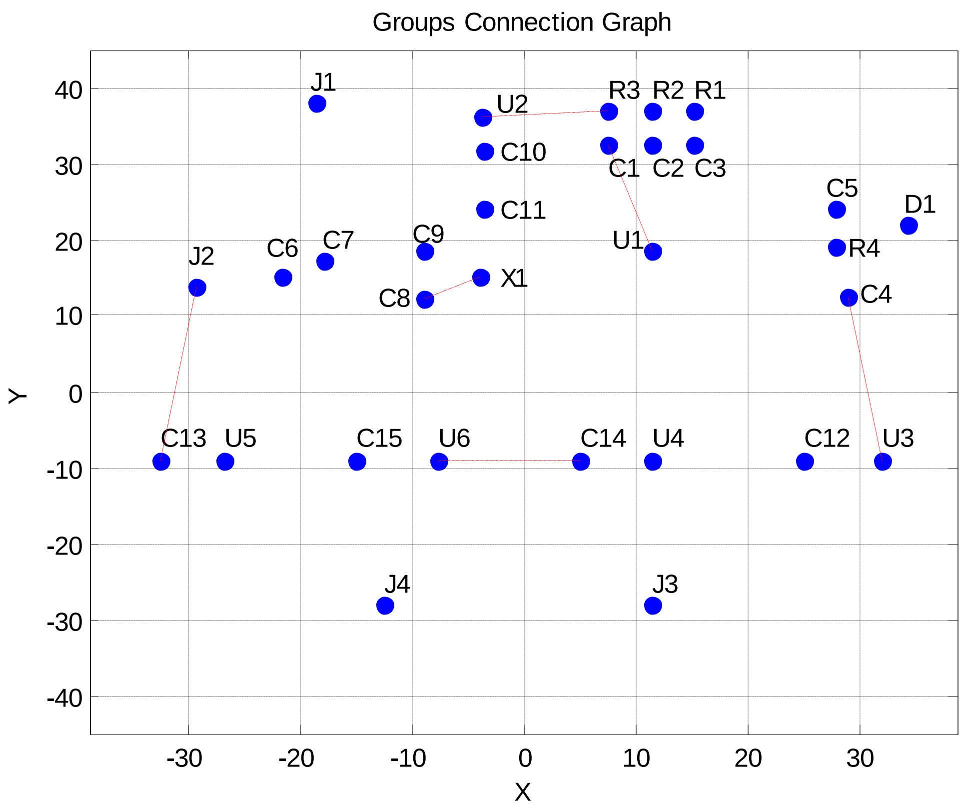
DG4_G5: المسافة بين عنصر نهاية القطاع الرابع وعنصر بداية القطاع الخامس.

DG5_G6: المسافة بين عنصر نهاية القطاع الخامس وعنصر بداية القطاع السادس.

DG6_G1: المسافة بين عنصر نهاية القطاع السادس وعنصر بداية القطاع الأول.

TOTAL: مجموع كافة المسافات التي تربط بين القطاعات.

كما يُستخدم البرنامج groupsconnectgraph لرسم الربط بين عنصر نهاية كل قطاع وعنصر بدية القطاع الذي يليه، ويُبين الشكل 4.16 عملية الربط بين القطاعات المتتالية في عملية التجميع بتطبيق البرنامج groupsconnectgraph.



الشكل (4.16) مخطط يبين الربط بين القطاعات المتتالية في عملية التجميع

يتم تخزين أطوال المسارات البالغ عددها 729 في المصفوفة arr المؤلفة من سطر واحد و 729 عمود حيث يُعبر كل عمود عن طول مسار من المسارات، ويكون الناتج:

```
arr =

  Columns 1 through 12
  333.3607  337.5332  337.5332  335.8799  340.0524  340.0524  345.1874  349.3599
  349.3599  341.7358  345.9083  345.9083

  Columns 13 through 24
  344.2550  348.4275  348.4275  353.5625  357.7351  357.7351  346.0251  350.1977
  350.1977  348.5443  352.7169  352.7169

  Columns 25 through 36
  357.8518  362.0244  362.0244  333.5552  337.7278  337.7278  336.0744  340.2470
  340.2470  345.3819  349.5545  349.5545
```

Columns 37 through 48
341.9303 346.1029 346.1029 344.4495 348.6221 348.6221 353.7571 357.9296
357.9296 346.2197 350.3922 350.3922

Columns 49 through 60
348.7389 352.9114 352.9114 358.0464 362.2189 362.2189 347.6413 351.8139
351.8139 350.1605 354.3331 354.3331

Columns 61 through 72
359.4680 363.6406 363.6406 356.0164 360.1890 360.1890 358.5356 362.7082
362.7082 367.8431 372.0157 372.0157

Columns 73 through 84
360.3058 364.4783 364.4783 362.8250 366.9975 366.9975 372.1325 376.3050
376.3050 337.2028 341.3754 341.3754

Columns 85 through 96
339.7220 343.8946 343.8946 349.0296 353.2021 353.2021 345.5780 349.7505
349.7505 348.0972 352.2697 352.2697

Columns 97 through 108
357.4047 361.5772 361.5772 349.8673 354.0398 354.0398 352.3865 356.5590
356.5590 361.6940 365.8665 365.8665

Columns 109 through 120
337.3974 341.5700 341.5700 339.9166 344.0892 344.0892 349.2241 353.3967
353.3967 345.7725 349.9451 349.9451

Columns 121 through 132
348.2917 352.4643 352.4643 357.5992 361.7718 361.7718 350.0618 354.2344
354.2344 352.5810 356.7536 356.7536

Columns 133 through 144
361.8885 366.0611 366.0611 351.4835 355.6561 355.6561 354.0027 358.1753
358.1753 363.3102 367.4828 367.4828

Columns 145 through 156
359.8586 364.0312 364.0312 362.3778 366.5504 366.5504 371.6853 375.8579
375.8579 364.1479 368.3205 368.3205

Columns 157 through 168
366.6671 370.8397 370.8397 375.9746 380.1472 380.1472 348.9522 353.1248
353.1248 351.4714 355.6440 355.6440

Columns 169 through 180
360.7789 364.9515 364.9515 357.3273 361.4999 361.4999 359.8465 364.0191
364.0191 369.1540 373.3266 373.3266

Columns 181 through 192
361.6167 365.7892 365.7892 364.1359 368.3084 368.3084 373.4434 377.6159
377.6159 349.1468 353.3193 353.3193

Columns 193 through 204
351.6660 355.8385 355.8385 360.9735 365.1461 365.1461 357.5219 361.6945
361.6945 360.0411 364.2137 364.2137

Columns 205 through 216
369.3486 373.5212 373.5212 361.8112 365.9838 365.9838 364.3304 368.5030
368.5030 373.6379 377.8105 377.8105

Columns 217 through 228
363.2329 367.4054 367.4054 365.7521 369.9246 369.9246 375.0596 379.2321
379.2321 371.6080 375.7805 375.7805

Columns 229 through 240
374.1272 378.2998 378.2998 383.4347 387.6073 387.6073 375.8973 380.0699
380.0699 378.4165 382.5891 382.5891

Columns 241 through 252
387.7240 391.8966 391.8966 334.8318 339.0044 339.0044 337.3510 341.5236
341.5236 346.6585 350.8311 350.8311

Columns 253 through 264
343.2069 347.3795 347.3795 345.7261 349.8987 349.8987 355.0336 359.2062
359.2062 347.4963 351.6688 351.6688

Columns 265 through 276
350.0155 354.1880 354.1880 359.3230 363.4955 363.4955 335.0264 339.1989
339.1989 337.5456 341.7181 341.7181

Columns 277 through 288
346.8531 351.0257 351.0257 343.4015 347.5741 347.5741 345.9207 350.0933
350.0933 355.2282 359.4008 359.4008

Columns 289 through 300
347.6908 351.8634 351.8634 350.2100 354.3826 354.3826 359.5175 363.6901
363.6901 349.1125 353.2850 353.2850

Columns 301 through 312
351.6317 355.8042 355.8042 360.9392 365.1117 365.1117 357.4876 361.6601
361.6601 360.0068 364.1793 364.1793

Columns 313 through 324
369.3143 373.4869 373.4869 361.7769 365.9495 365.9495 364.2961 368.4687
368.4687 373.6036 377.7762 377.7762

Columns 325 through 336
338.6740 342.8466 342.8466 341.1932 345.3658 345.3658 350.5007 354.6733
354.6733 347.0491 351.2217 351.2217

Columns 337 through 348
349.5683 353.7409 353.7409 358.8758 363.0484 363.0484 351.3384 355.5110
355.5110 353.8576 358.0302 358.0302

Columns 349 through 360
363.1651 367.3377 367.3377 338.8686 343.0411 343.0411 341.3878 345.5603
345.5603 350.6953 354.8678 354.8678

Columns 361 through 372
347.2437 351.4162 351.4162 349.7629 353.9354 353.9354 359.0704 363.2429
363.2429 351.5330 355.7055 355.7055

Columns 373 through 384
354.0522 358.2247 358.2247 363.3597 367.5323 367.5323 352.9547 357.1272
357.1272 355.4739 359.6464 359.6464

Columns 385 through 396
364.7814 368.9539 368.9539 361.3298 365.5023 365.5023 363.8490 368.0215
368.0215 373.1565 377.3290 377.3290

Columns 397 through 408
365.6191 369.7916 369.7916 368.1383 372.3108 372.3108 377.4458 381.6184
381.6184 350.4234 354.5959 354.5959

Columns 409 through 420
352.9426 357.1151 357.1151 362.2501 366.4226 366.4226 358.7985 362.9710
362.9710 361.3177 365.4902 365.4902

Columns 421 through 432
370.6252 374.7978 374.7978 363.0878 367.2604 367.2604 365.6070 369.7796
369.7796 374.9145 379.0871 379.0871

Columns 433 through 444
350.6179 354.7905 354.7905 353.1371 357.3097 357.3097 362.4446 366.6172
366.6172 358.9931 363.1656 363.1656

Columns 445 through 456
361.5123 365.6848 365.6848 370.8198 374.9923 374.9923 363.2824 367.4549
367.4549 365.8016 369.9741 369.9741

Columns 457 through 468
375.1091 379.2816 379.2816 364.7040 368.8766 368.8766 367.2232 371.3958
371.3958 376.5307 380.7033 380.7033

Columns 469 through 480
373.0791 377.2517 377.2517 375.5983 379.7709 379.7709 384.9059 389.0784
389.0784 377.3685 381.5410 381.5410

Columns 481 through 492
379.8877 384.0602 384.0602 389.1952 393.3677 393.3677 336.0475 340.2200
340.2200 338.5667 342.7392 342.7392

Columns 493 through 504
347.8742 352.0467 352.0467 344.4226 348.5951 348.5951 346.9418 351.1143
351.1143 356.2493 360.4218 360.4218

Columns 505 through 516
348.7119 352.8845 352.8845 351.2311 355.4037 355.4037 360.5386 364.7112
364.7112 336.2420 340.4146 340.4146

Columns 517 through 528
338.7612 342.9338 342.9338 348.0687 352.2413 352.2413 344.6171 348.7897
348.7897 347.1363 351.3089 351.3089

Columns 529 through 540
356.4439 360.6164 360.6164 348.9065 353.0790 353.0790 351.4257 355.5982
355.5982 360.7332 364.9057 364.9057

Columns 541 through 552
350.3281 354.5007 354.5007 352.8473 357.0199 357.0199 362.1548 366.3274
366.3274 358.7032 362.8758 362.8758

Columns 553 through 564
361.2224 365.3950 365.3950 370.5299 374.7025 374.7025 362.9926 367.1651
367.1651 365.5118 369.6843 369.6843

Columns 565 through 576
374.8193 378.9918 378.9918 339.8896 344.0622 344.0622 342.4088 346.5814
346.5814 351.7164 355.8889 355.8889

Columns 577 through 588
348.2648 352.4373 352.4373 350.7840 354.9565 354.9565 360.0915 364.2640
364.2640 352.5541 356.7266 356.7266

Columns 589 through 600
355.0733 359.2458 359.2458 364.3808 368.5533 368.5533 340.0842 344.2568
344.2568 342.6034 346.7760 346.7760

Columns 601 through 612
351.9109 356.0835 356.0835 348.4593 352.6319 352.6319 350.9785 355.1511
355.1511 360.2860 364.4586 364.4586

Columns 613 through 624
352.7486 356.9212 356.9212 355.2678 359.4404 359.4404 364.5753 368.7479
368.7479 354.1703 358.3429 358.3429

Columns 625 through 636
356.6895 360.8621 360.8621 365.9970 370.1696 370.1696 362.5454 366.7180
366.7180 365.0646 369.2372 369.2372

Columns 637 through 648
374.3721 378.5447 378.5447 366.8347 371.0073 371.0073 369.3539 373.5265
373.5265 378.6614 382.8340 382.8340

Columns 649 through 660
351.6390 355.8116 355.8116 354.1582 358.3308 358.3308 363.4657 367.6383
367.6383 360.0141 364.1867 364.1867

Columns 661 through 672
362.5333 366.7059 366.7059 371.8408 376.0134 376.0134 364.3035 368.4760

368.4760 366.8227 370.9952 370.9952

Columns 673 through 684
376.1302 380.3027 380.3027 351.8336 356.0061 356.0061 354.3528 358.5253
358.5253 363.6603 367.8328 367.8328

Columns 685 through 696
360.2087 364.3813 364.3813 362.7279 366.9005 366.9005 372.0354 376.2080
376.2080 364.4980 368.6706 368.6706

Columns 697 through 708
367.0172 371.1898 371.1898 376.3247 380.4973 380.4973 365.9197 370.0922
370.0922 368.4389 372.6114 372.6114

Columns 709 through 720
377.7464 381.9189 381.9189 374.2948 378.4673 378.4673 376.8140 380.9865
380.9865 386.1215 390.2941 390.2941

Columns 721 through 729
378.5841 382.7567 382.7567 381.1033 385.2759 385.2759 390.4108 394.5834
394.5834

4.2.6. إيجاد المسار الأمثل لتجميع الدارة المطبوعة:

يستخدم البرنامج bees_algorithm في إيجاد المسار الأمثل لتجميع الدارة المطبوعة، ومراحل عمل هذا البرنامج يُمكن تلخيصها بالنقاط التالية:

1. استدعاء التابع الفرعي disg لتوليد مجموعة المسارات الكاملة للربط بين كل العناصر.
2. إيجاد ترتيب مصفوفة الملقمات حسب كل مسار من المسارات الناتجة في المصفوفة arr.
3. حساب زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب كل مسار من مسارات التجميع الناتجة، وتتم هذه العملية لكل مسار كما يلي:

أ. حساب زمن حركة الطاولة عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.
ب. حساب زمن حركة مصفوفة الملقمات عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.
ت. حساب زمن حركة فهرسة البرج عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.
ث. المقارنة بين هذه الأزمنة واختيار الزمن الأكبر بينها على أنه زمن وضع العنصر i في موقعه حسب المسار j.
ج. بجمع أزمنة وضع العناصر في مواقعها نحصل على زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب المسار j.

4. بعد الحصول على أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب المسارات الناتجة يتم اختبار هذه المسارات حسب معيار الأمثلية لاختيار المسارات التي تحقق أعلى قيمة في تابع الأمثلية، ويكتب تابع الأمثلية بالعلاقة [3]:

$$r_i = 0.6 \quad for \qquad P_{fi} < 0.9\, P_{f\ colony}$$
$$0.3 \quad for \quad 0.9\, P_{f\ colony} \le P_{fi} < 0.95\, P_{f\ colony}$$
$$0.2 \quad for \quad 0.95\, P_{f\ colony} \le P_{fi} < 1.15\, P_{f\ colony}$$
$$0 \quad for \quad 1.15\, P_{f\ colony} \le P_{fi}$$

P_{f_i} هو احتمال أن يكون مسار التجميع i هو المسار الأمثل ويتناسب عكساً مع زمن تجميع الدارة المطبوعة T_i حسب المسار i ويكتب بالعلاقة [3]:

$$P_{f_i} = \frac{1}{T_i}$$

أما $P_{f_{colony}}$ فهو الاحتمال الوسطي لاختيار المسار الأمثل من بين كل مسارات التجميع n المتاحة ويكتب بالعلاقة [3]:

$$P_{f_{colony}} = \frac{1}{n}\sum_{J=1}^{n}\frac{1}{T_J}$$

لدينا في الخوارزمية 62 نحلة كشافة تختبر كل مسارات التجميع البالغ عددها 729 مسار حسب معيار الأمثلية بحيث تبدأ النحلة الكشافة الأولى باختبار أول 12 مسار تجميع وبنفس الوقت تختبر باقي الشغالات المسارات المتبقية بنفس الترتيب بحيث تختبر 60 نحلة كشافة 720 مسار تجميع بينما النحلة الكشافة ذات الترتيب 61 تختبر 5 مسارات تجميع والنحلة الكشافة ذات الترتيب 62 تختبر 4 مسارات تجميع بالترتيب وصولاً إلى مسار التجميع الأخير الناتج من عملية تشكيل المسارات الكاملة، وتتم عمليات السبر واختبار المسارات بنفس الوقت بالنسبة لكل النحلات الكشافة.

فقط المسارات التي تحقق القيمة الأعلى لتابع الأمثلية يتم تخزين بياناتها في المصفوفة aa ويكون الناتج في المصفوفة aa كما يلي:

aa =

Columns 1 through 12
333.3607 337.5332 337.5332 335.8799 333.5552 337.7278 337.7278 336.0744
337.2028 337.3974 334.8318 337.3510

Columns 13 through 16
335.0264 337.5456 336.0475 336.2420

وترتيب هذه المسارات المختارة من المصفوفة arr يتم تخزينه في المصفوفة ar ويكون الناتج:

ar =
1 2 3 4 28 29 30 31 82 109 244 247 271
274 487 514

حيث أن كل المسارات الناتجة من اختبار تابع الأمثلية لها نفس القيمة العليا لتابع الأمثلية لن يتم التعرف على المسار الأمثلي إلا من خلال المفاضلة بين أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب هذه المسارات والمسار ذو زمن التجميع الأقل سيتم اختياره على أنه المسار الأمثل لتجميع الدارة المطبوعة.

5. يُقارن البرنامج bees_algorithm بين أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب المسارات المختارة ويُوجد الزمن الأصغر بينها والذي يُعتبر الزمن الأمثل لتجميع الدارة المطبوعة حسب خوارمية النحل، ويكون الناتج:

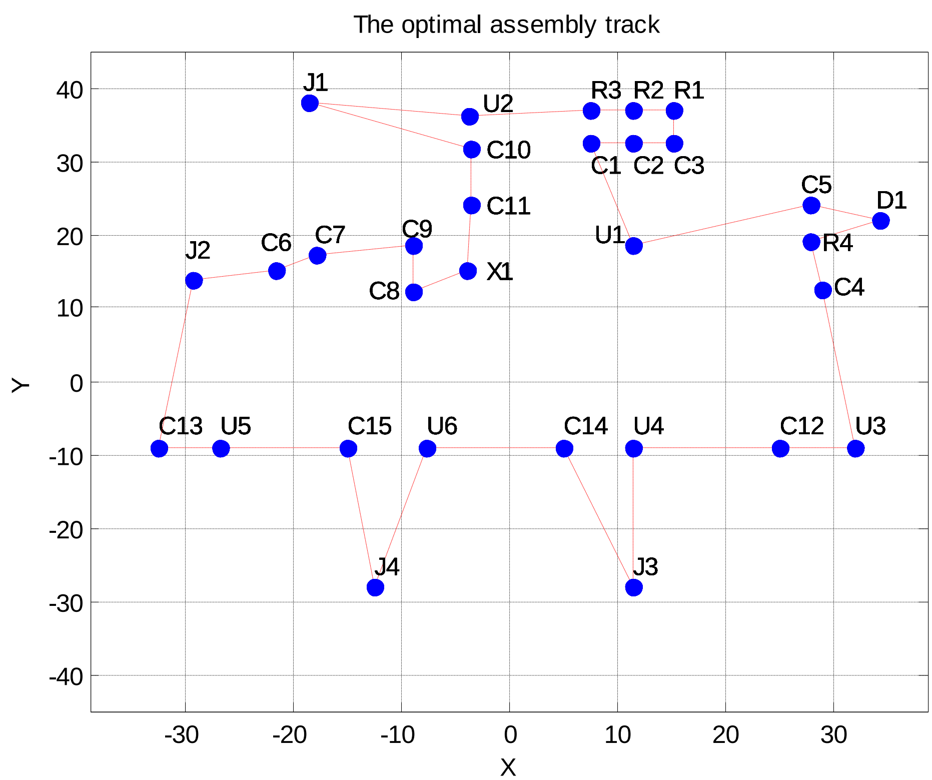
Toptimal =

25.6444

THE OPTIMAL ASSEMBLY TRACK IS: TRACK109 >>

أي أن زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب المسار الأمثل الناتج يُساوي 25.6444 ثانية.

6. يرسم البرنامج bees_algorithm مخطط هذا المسار الأمثل كما هو مُبين على الشكل 4.17.



الشكل (4.17) مخطط مسار التجميع الأمثلي للدارة المطبوعة

تسلسل وضع العناصر في مواقعها حسب هذا المسار الأمثل كما يلي:

U1-C5-D1-R4-C4-U3-C12- U4 - J3-C14-U6- J4-C15- U5-C13-J2-C6-C7-C9-C8-X1-C11-C10-J1-U2-R3-R2-R1-C3-C2-C1.

ترتيب مصفوفة الملقمات حسب هذا المسار الأمثل كما يلي:

$f(U_1)$- $f(C_{1\mu})$- $f(D_1)$- f(R)- $f(U_2)$ - $f(C_{10\mu})$ - f(J)- $f(X_1)$- f(C)- f(SO14W)- f(J4)- f(J3)

الفصل الخامس. الخوارزمية الجينية

5.1. المقدمة:

الخوارزمية الجينية هي إحدى الخوارزميات التطورية المُستخدمة في البحث عن الحلولة الأمثلية، والتي تعتمد على تقليد عمل الطبيعة من منظور داروين في الوراثة، وتُعتبر الخوارزمية الجينية من التقنيات الهامة في البحث عن الخيار الأمثل من مجموعة حلول متوفرة لتصميم معين، وتعتمد هذه الخوارزمية على مبدأ داروين في الإصطفاء حيث تقوم من خلال المعالجة الوراثية بتمرير الصفات المثلى من عمليات التوالد المتعاقبة وتدعيم هذه الصفات، وتكون لهذه الصفات الناتجة القدرة الأكبر على دخول عملية التوالد وإنتاج ذرية أمثل، وبتكرار الدورة الوراثية تتحسن نوعية الذرية تدريجياً [10].

تُستخدم الخوارزمية الجينية في التطبيقات المعلوماتية الإحيائية (Bioinformatics) وعلوم الحاسوب والهندسة والإقتصاد والكيمياء والصناعات التحويلية والرياضيات والفيزياء وغيرها من الميادين.

5.2. خطوات الخوارزمية الجينية:

1. التهيئة (Initialization):

في البداية يتم توليد مجموعة من الحلول المتاحة بشكل عشوائي ويُعتبر كل حل منها كروموسوماً، ويعتمد حجم الكروموسومات على طبيعة المشكلة، وعادة يوجد عدة مئات أو آلاف من الحلول الممكنة والتي تُشكل الكروموسومات في الخوارزمية الجينية [10].

2. الإختيار (Selection):

تبدأ الخوارزمية الجينية من الجيل الأول ومن كل الكروموسومات المتاحة في الجيل الأول وهي الحلول الناتجة من مرحلة التهيئة، حيث يتم إختيار أفضل كروموسومات لنقلها لاحقاً إلى الجيل التالي بالتهجين أو الإستنساخ حيث أنه يتم من كل جيل من الأجيال المتعاقبة اختيار نسبة من الكروموسومات وهي أفضل الكروموسومات في الجيل لإنتاج جيل جديد، ويتم اختيار هذه الكروموسومات اعتماداً على جودة المورثات التي تحملها واقترابها من الحل الأمثل [10].

3. التهجين (Crossover) والإستنساخ (Reproduction):

من خلال الآباء الذين تم إختيارهم يتم التزاوج بين كل إثنين من الآباء لإنتاج طفلين جديدين وتستمر هذه العملية حتى يتم إيجاد مجموعة جديدة من الكروموسومات ذات المواصفات الأفضل.

في جيل ما قد توجد بعض الكروموسومات غير مفيدة لا تتوافق مع الحل الأمثل وقد يوجد في هذا الجيل كروموسوم واحد يحمل صفات جيدة قد تؤدي إلى الحل الأمثل عندئذ يتم إستنساخ مورثات هذا الكروموسوم إلى الجيل التالي [10].

4. الإنهاء (Termination):

عملية إيجاد جيل جديد تستمر حتى يحدث أحد أسباب الإنهاء وهي [10]:

1. الوصول إلى الحل الأمثل.

2. الوصول إلى العدد المطلوب من الأجيال.

5.3. مخطط بناء الخوارزمية الجينية:

يشمل مخطط بناء الخوارزمية الجينية المراحل التالية [11]:

1. تشكيل مجموعة الكروموسومات المتاحة كحلول للمسألة.

2. تطبيق معطيات المسألة على الكروموسومات الناتجة في المرحلة السابقة.

3. حلقة تكرار:

    3.1. إختيار أفضل آباء لعملية إنتاج الأبناء.

    3.2. توليد جيل جديد باستخدام التهجين والإستنساخ.

    3.3. تقييم الأبناء الناتجة في الجيل الجديد.

    3.4. تشكيل أجيال جديدة من الأبناء المنتقاة في الجيل.

4. أكمل حتى الإنتهاء.

5.4. تطبيق الخوارزمية الجينية في التجميع الامثلي للدارة المطبوعة:

الخوارزمية الجينية هي طريقة لمحاكاة ما تفعله الطبيعة في تكاثر الكائنات الحية، واستخدام تلك الطريقة لحل مشكلات معقدة للوصول إلى الحل الأمثل أو أقرب حل ممكن للحل الأمثل.

تكمن فكرة الخوارزمية في توليد بعض الحلول العشوائية للمشكلة، ثم تُفحص هذه الحلول وتُقارن ببعض المعايير التي يضعها مصمم الخوارزمية، وأفضل الحلول فقط هي التي تبقى أما الحلول الأقل كفاءة فيتم إهمالها عملاً بالقاعدة البيولوجية " البقاء للأصلح " [12].

والخطوة التالية هي مزاوجة أو خلط الحلول المتبقية لإنتاج حلول جديدة على غرار ما يحصل في الكائنات الحية وذلك بمزج مورثاتها (جيناتها) بحيث يحمل الكائن الجديد صفات هي عبارة عن مزيج من صفات والديه.

الحلول الناتجة من التزاوج تدخل هي أيضاً تحت الفحص والتنقيح لمعرفة مدى كفاءتها و إقترابها من الحل الأمثل، فـإذا ثبتت كفاءة الحل الجديد فـإنه يبقى و إلا يهمل، وهكذا تتم عمليات التزاوج والإنتقاء حتى تصل العملية إما لعدد معين من التكرارات (يُقرره مستخدم النظام) أو أن تصل الحلول الناتجة أو إحداها إلى نسبة الكفاءة أو نسبة خطأ ضئيلة (يُحددها المستخدم أيضاً) أو حتى الوصول إلى الحل الأمثل [13].

إن مراحل تطبيق الخوارزمية الجينية بهدف الوصول إلى المسار الأمثل تشمل:

1. التهيئة (Initialization):

يستخدم البرنامج ga في توليد مجموعة مسارات التجميع الكاملة للربط بين عناصر الدارة المطبوعة.

2. الإختيار(Selection):

يستخدم البرنامج genetic_algorithm في عملية انتقاء أفضل المسارات من مجموعة المسارات الناتجة من عملية التهيئة باختبار هذه المسارات حسب معيار الأمثلية والمسارات التي تحقق أعلى قيمة لتابع الأمثلية يتم انتقاءها وتعتبر المسارات المنتقاة كروموسومات الجيل الأول التي سيتم منها إنتاج المسارات في الأجيال التالية، وفي كل جيل يتم تطبيق معيار الأمثلية لانتقاء أفضل المسارات وتشكيل أجيال جديدة منها.

إن مراحل عملية الإنتقاء في كل جيل تشمل:

1. إيجاد ترتيب مصفوفة الملقمات حسب كل مسار من المسارات الناتجة في عملية التهيئة.

2. حساب زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب كل مسار من مسارات التجميع الناتجة، وتتم هذه العملية لكل مسار كما يلي:

أ. حساب زمن حركة الطاولة عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.

ب. حساب زمن حركة مصفوفة الملقمات عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.

ت. حساب زمن حركة فهرسة البرج عند وضع كل عنصر i في موقعه حسب المسار j.

ث. المقارنة بين هذه الأزمنة واختيار الزمن الأكبر بينها على أنه زمن وضع العنصر i في موقعه حسب المسار j.

ج. بجمع أزمنة وضع العناصر في مواقعها نحصل على زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب المسار j.

3. بعد الحصول على أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب المسارات الناتجة يتم اختبار هذه المسارات حسب معيار الأمثلية لاختيار المسارات التي تحقق أعلى قيمة في تابع الأمثلية، ويكتب تابع الأمثلية بالعلاقة [13]:

$$f_k = (t_{\max} - t_k) \times \frac{N}{\sum_{k=1}^{N} (t_{\max} - t_k)}$$

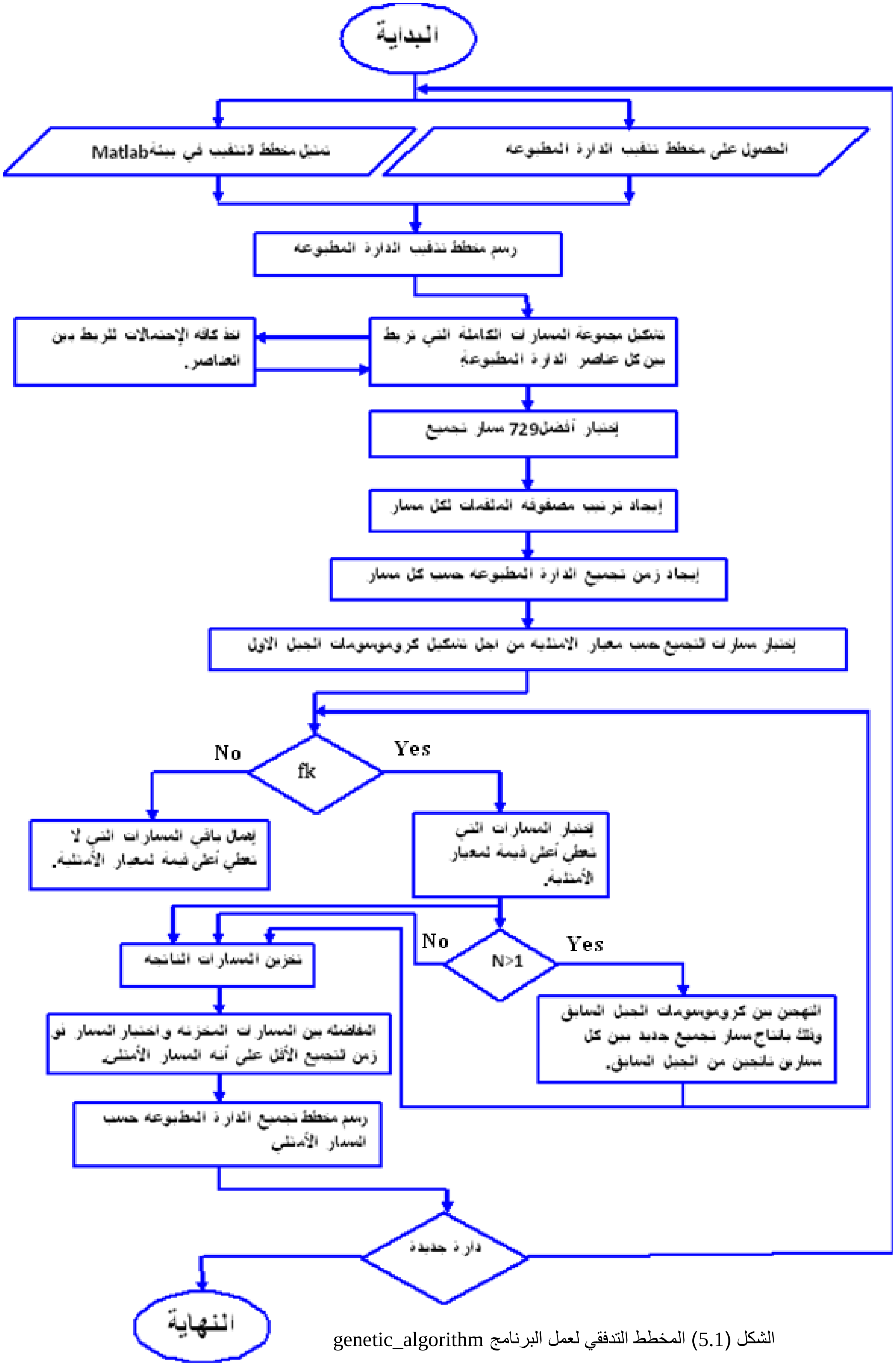
f_k : احتمال اختيار مسار التجميع (الكروموسوم) k ذو زمن التجميع t_k على أنه المسار الأمثلي.

t_{max} : هو مجموع أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب المسارات N المختبرة.

3. التهجين والاستنساخ بين المسارات المنتقاة في كل جيل لإنتاج جيل جديد.

<u>5.5. مراحل عمل البرنامج genetic_algorithm:</u>

البرنامج الرئيسي في تطبيق الخوارزمية الجينية للحصول على الحل الأمثل هو البرنامج genetic_algorithm وهو برنامج مصمم في بيئة الماتلاب، والمخطط التدفقي لعمل البرنامج genetic_algorithm يكون مبين على الشكل 5.1.



الشكل (5.1) المخطط التدفقي لعمل البرنامج genetic_algorithm

وفيما يلي مراحل عمل هذا البرنامج:

1. استدعاء البرنامج ga لتوليد مجموعة المسارات التي سيتم تطبيق الخوارزمية الجينية عليها:

يعتمد توليد مجموعة المسارات الكاملة للربط بين العناصر على أخذ جميع الاحتمالات الممكنة للربط الكامل بين العناصر، ثم يتم اختيار أقصر 729 مسار منها.

2. تشكيل كروموسومات الجيل الأول:

كروموسومات الجيل الأول هي مسارات التجميع التي تعطي أعلى قيمة للاحتمال [13]:

$$f_k = (t_{\max} - t_k) \times \frac{N}{\sum_{k=1}^{N} (t_{\max} - t_k)}$$

f_k : احتمال اختيار مسار التجميع (الكروموسوم) k ذو زمن التجميع t_k على أنه المسار الأمثل.

t_{max} : هو مجموع أزمنة تجميع الدارة المطبوعة حسب المسارات N المختبرة.

وعليه من أجل كل مسار من المسارات المختبرة من عملية التهيئة:

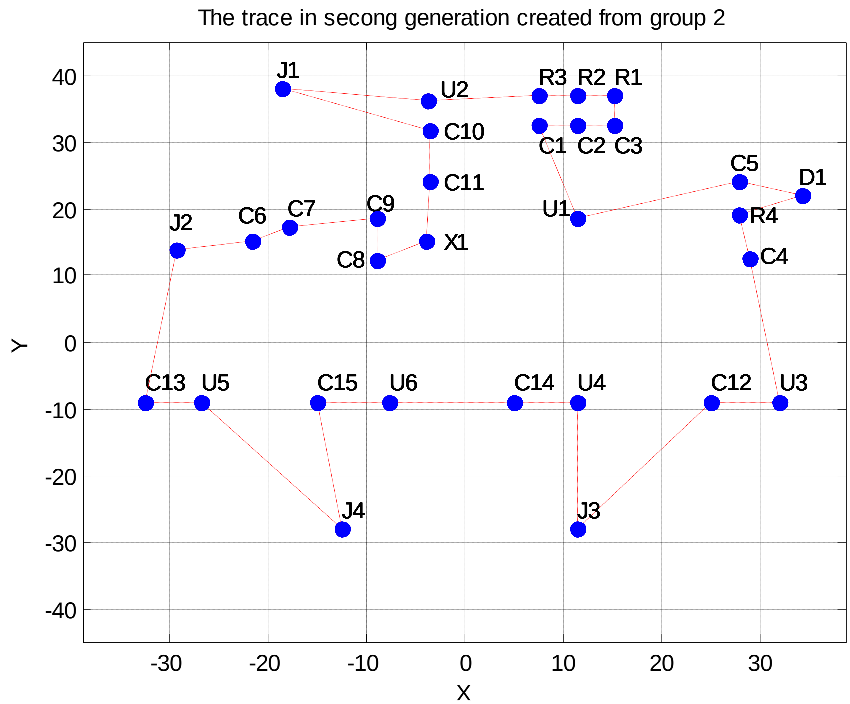
أ. يتم ايجاد ترتيب مصفوفة الملقمات حسب كل مسار.
ب. يتم حساب زمن تجميع الدارة المطبوعة حسب كل مسار.
ت. يتم اختيار أفضل مسارات وهي التي تحقق أفضل قيمة للاحتمال f_k .

3. عملية التهجين لإنتاج الجيل الثاني:

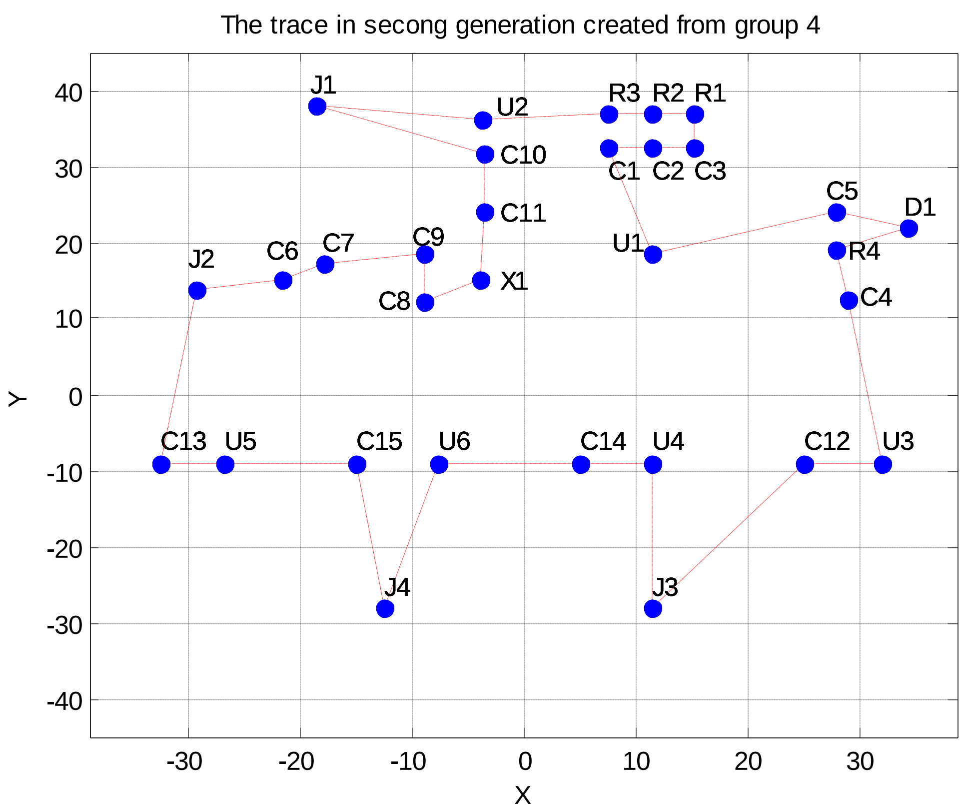
نتج لدينا في الجيل الأول 16 مسار وحيث أن التهجين يتم بين كل مسارين من الجيل الأول لتشكيل مسار جديد فانه سينتج لدينا 8 مسارات تجميع مختلفة في الجيل الثاني، ويعتمد التهجين بين المسارات على:

أ. فحص إمكانية تهجين كل مسار من مسارات الجيل الأول مع المسارات المتبقية وفيما إذا كان المسار الناتج من عملية التهجين يحقق مسار تجميع كامل.
ب. المسارات التي تحمل أكثر صفات مشتركة يتم التهجين بينها.
ت. الصفات المشتركة تعني وجود اختلاف بسيط في الربط بين العناصر بالنسبة لكلا المسارين.

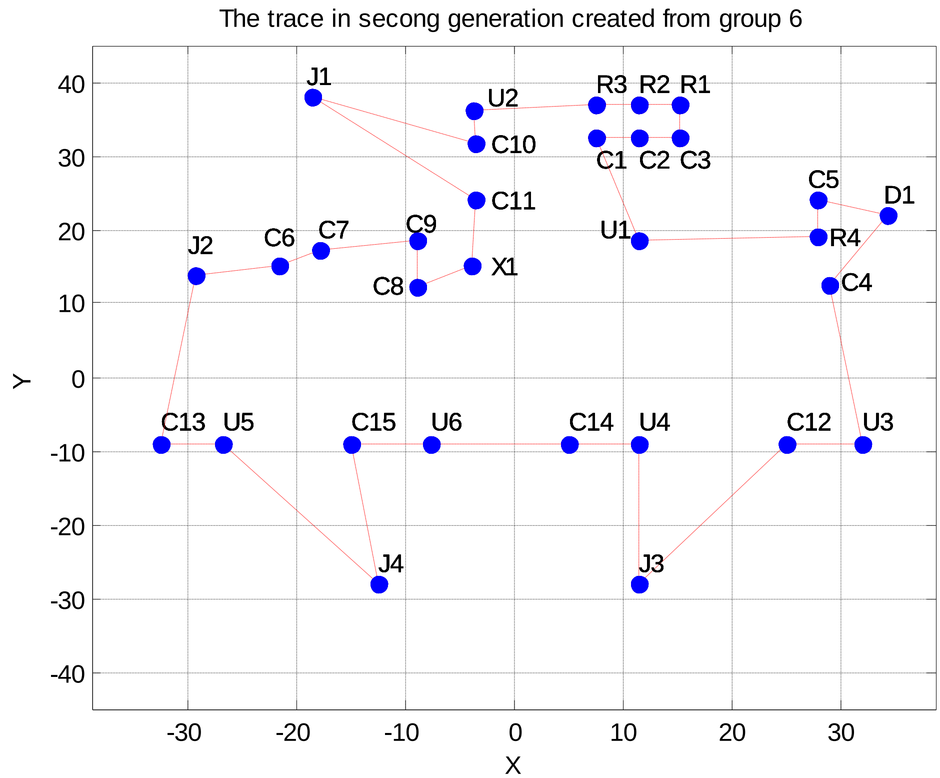
وجد تطابق بين بعض المسارات الناتجة في الجيل الثاني وبحذف المسارات المتطابقة تكون المسارات الستة الناتجة مبينة في الأشكال 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6:



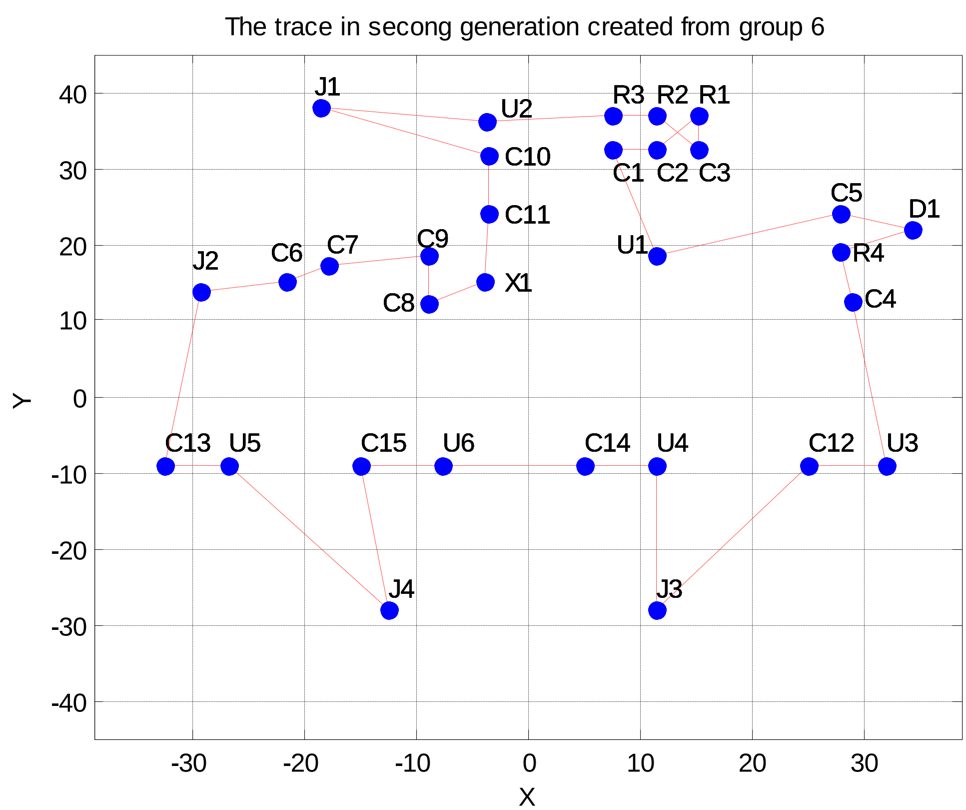
الشكل (5.1) المسار الأول الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار



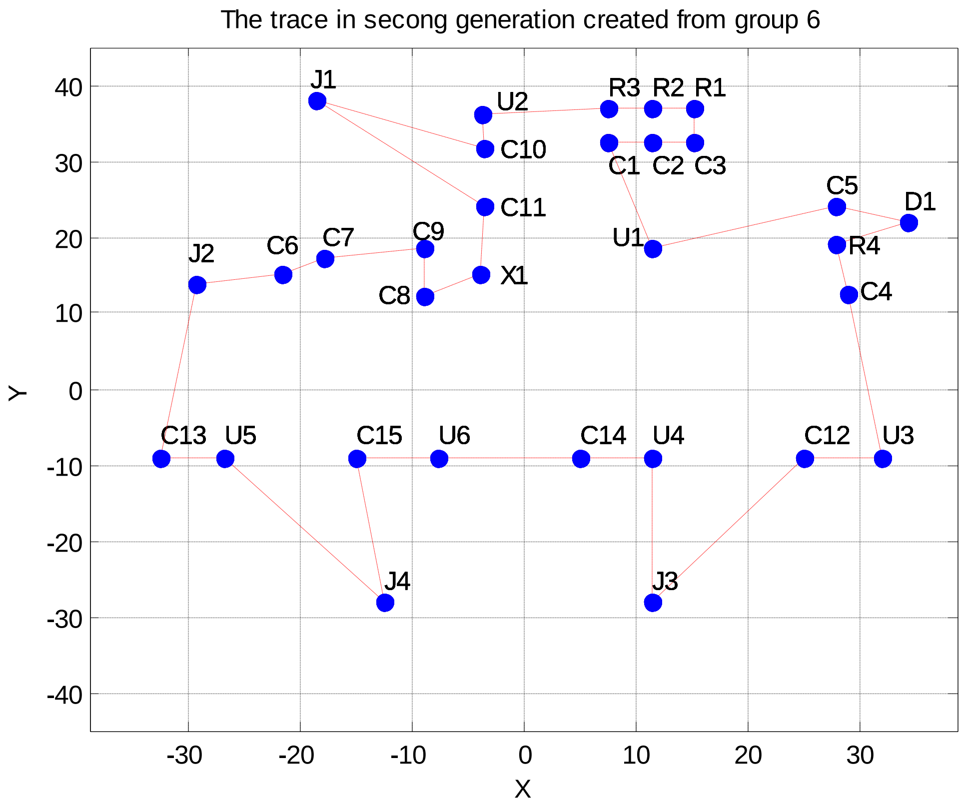
الشكل (5.2) المسار الثاني الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار



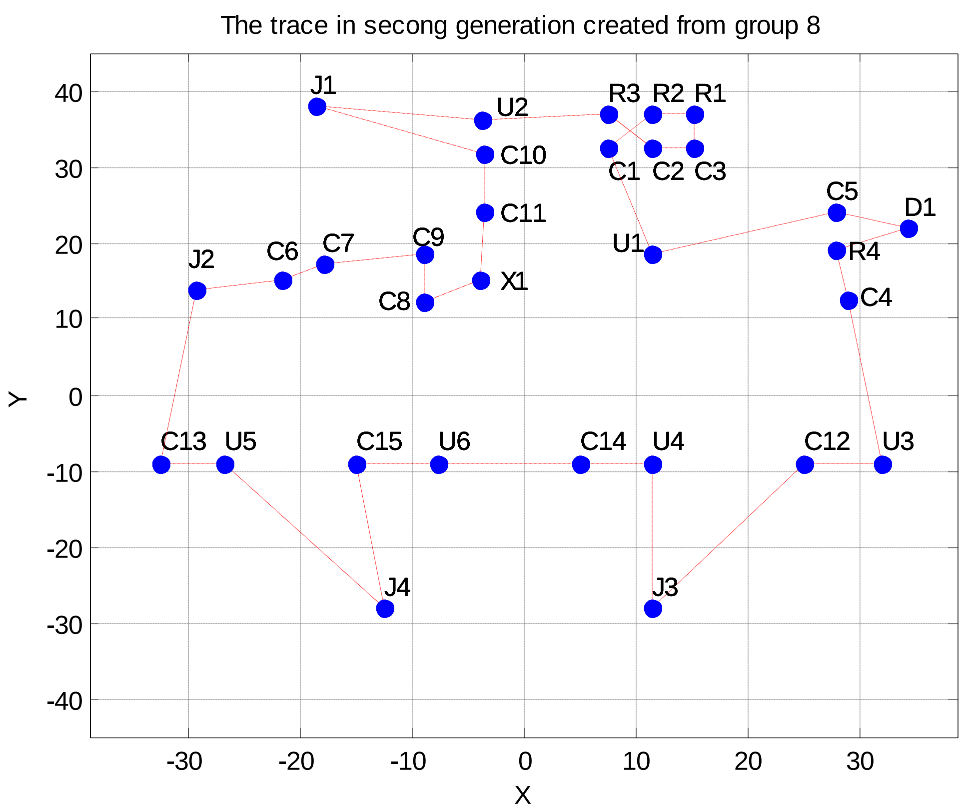
الشكل (5.3) المسار الثالث الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار



الشكل (5.4) المسار الرابع الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار

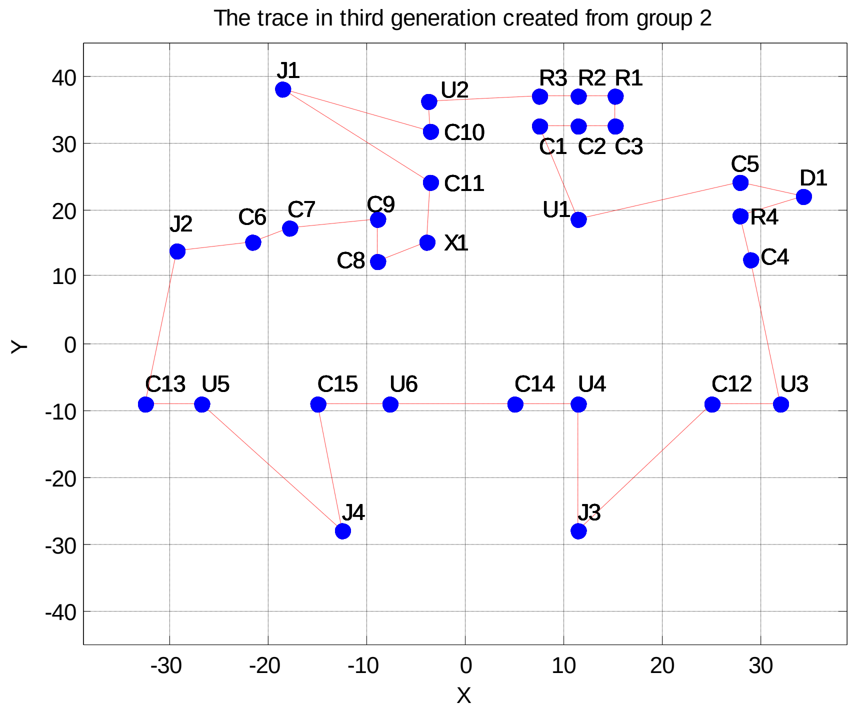


الشكل (5.5) المسار الخامس الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار

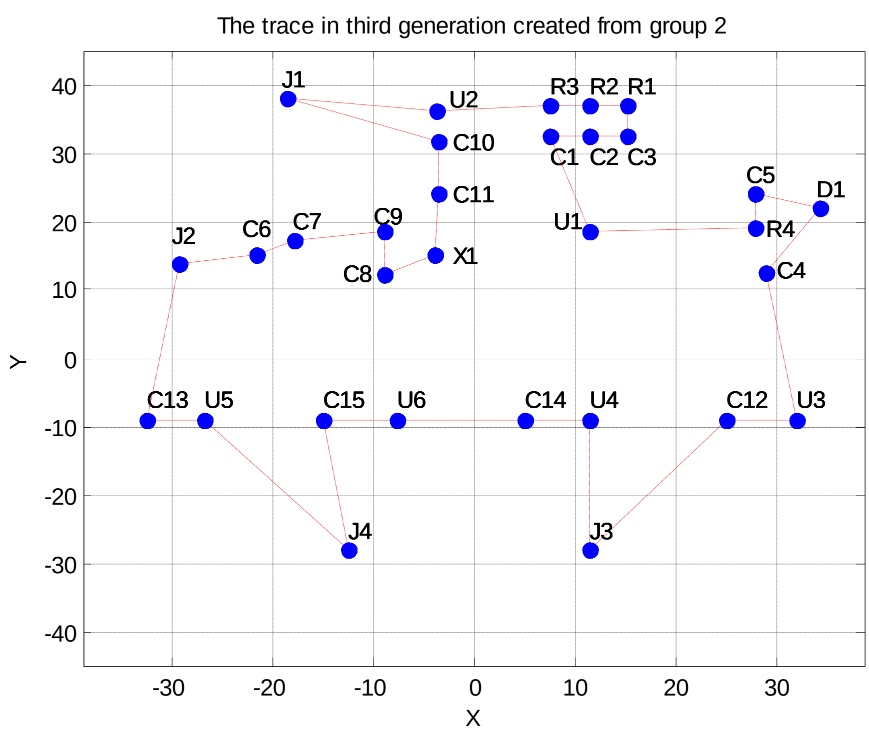


الشكل (5.6) المسار السادس الناتج في الجيل الثاني بعد الاختصار

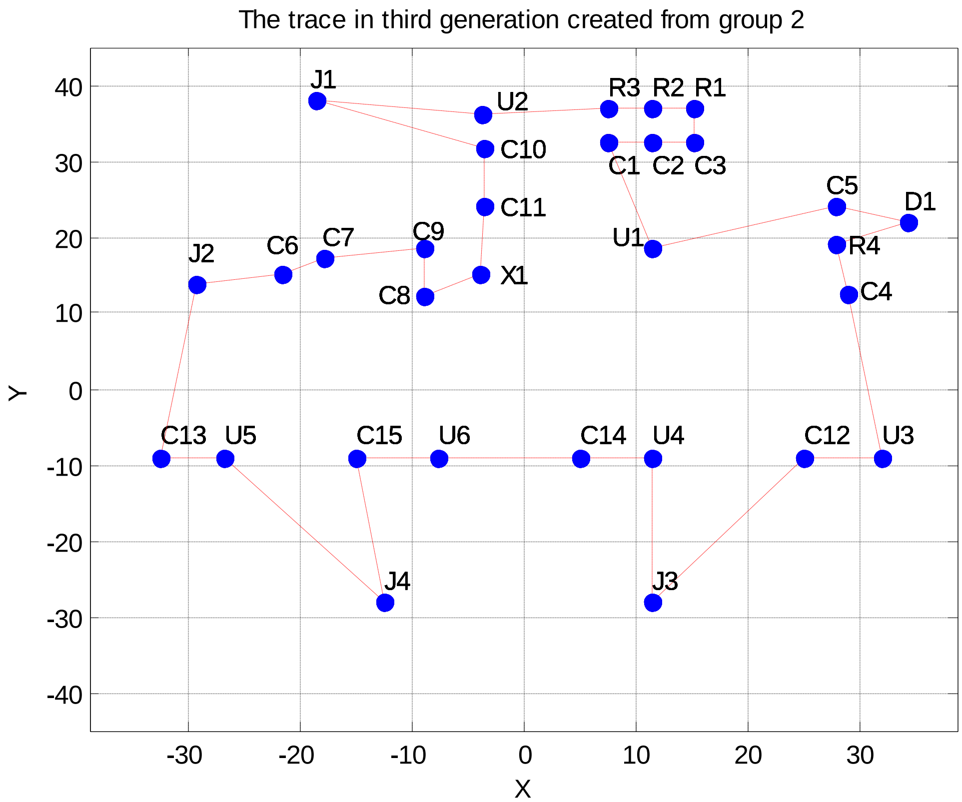
نفس معايير التهجين والاختبار التي تمت في الجيل الأول تطبق للتهجين بين كروموسومات الجيل الثاني وكان ناتج التهجين الحصول على 3 مسارات تجميع في الجيل الثالث ، وهي الكروموسومات التي سيتم التهجين بينها لإنتاج مسارات في الجيل الرابع، وهذه المسارات الثلاثة الناتجة تكون مُبينة على الأشكال 5.7, 5.8, 5.9:



الشكل (5.7) المسار الأول الناتج في الجيل الثالث بعد الاختصار



الشكل (5.8) المسار الثاني الناتج في الجيل الثالث بعد الاختصار

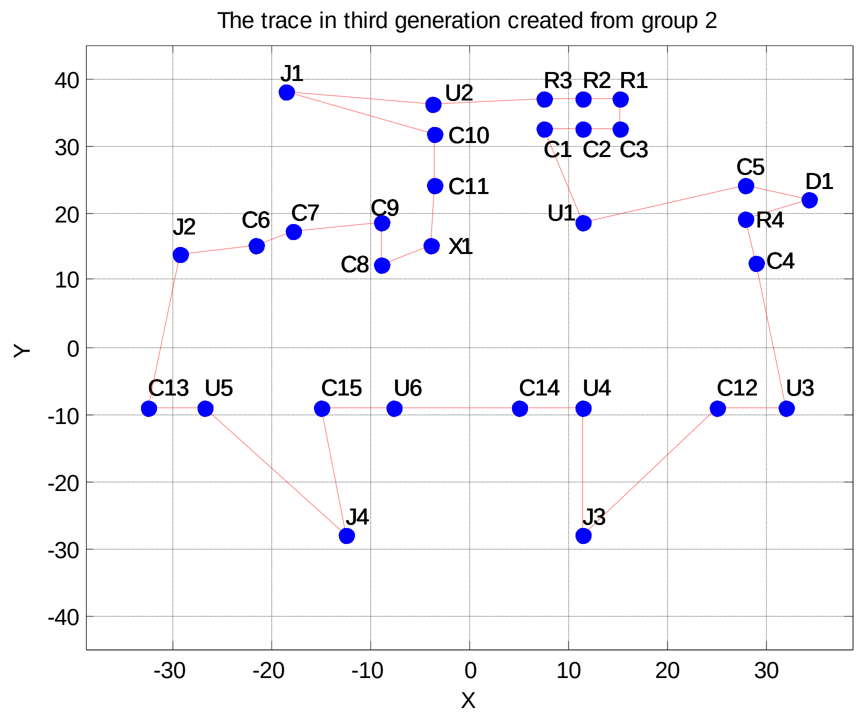


الشكل (5.9) المسار الثالث الناتج في الجيل الثالث بعد الاختصار

وحيث أنه لدينا 3 مسارات في الجيل الثالث يتم التهجين بين مسارين وإستنساخ مسار إلى الجيل الرابع، وحيث أن المسار الثالث في الجيل الثالث هو أقصر مسار وطوله 333.3607 mm مُقارنة مع المسارين الأول وطوله 335.8799 mm والمسار الثاني وطوله 334.8319 mm، وعليه يكون لدينا عمليتان في الجيل الثالث وهما عملية إستنساخ وعملية تهجين.

<u>عملية الإستنساخ:</u>

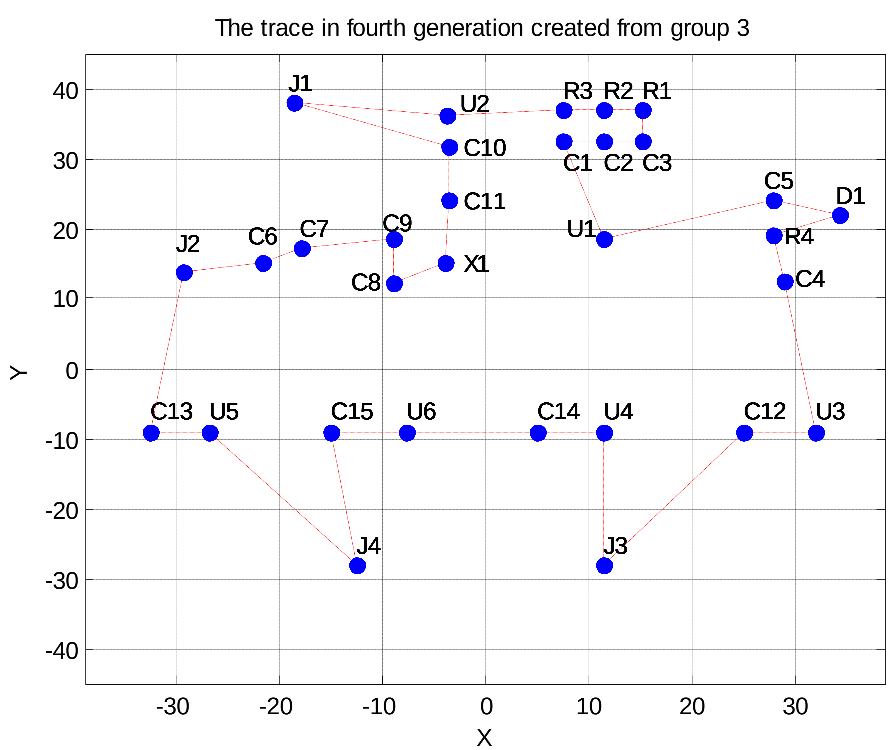
يتم نقل المسار الثالث من الجيل الثالث إلى الجيل الرابع، وهذا المسار يكون مُبين على الشكل 5.10.



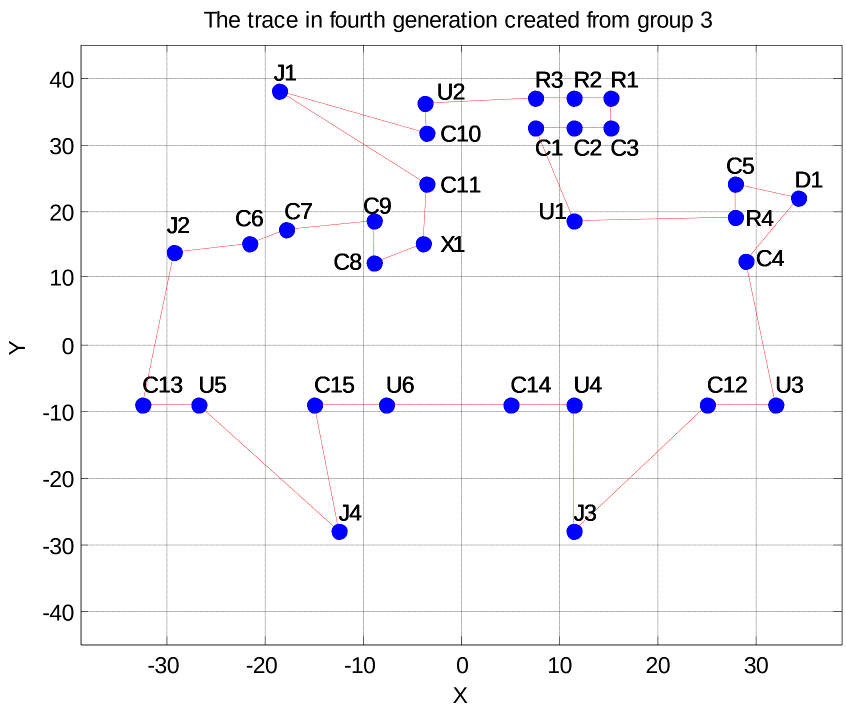
الشكل (5.10) المسار الأول الذي سيتم استنساخه إلى الجيل الرابع

عملية التهجين:

وفيها يتم الدمج بين المسارين الأول والثاني ، والمساران الناتجان من عملية الدمج يحملان نفس خصائص التوصيل من المسارين في الجيل السابق والمساران الناتجان في الجيل الثالث يكونان مُبينان على الشكلين 5.11, 5.12.

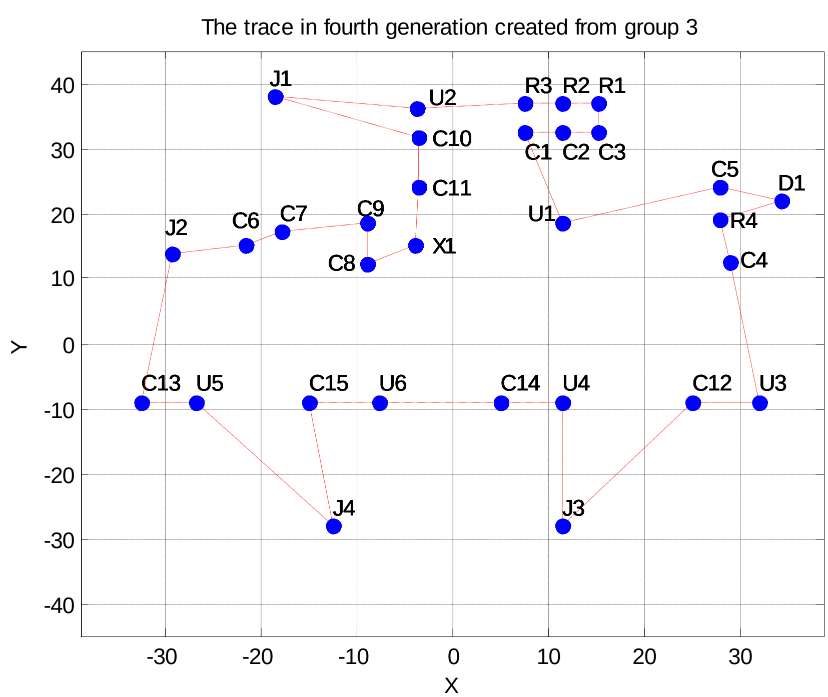


الشكل (5.11) المسار الأول في الجيل الرابع الناتج من الدمج في المجموعة الأولى

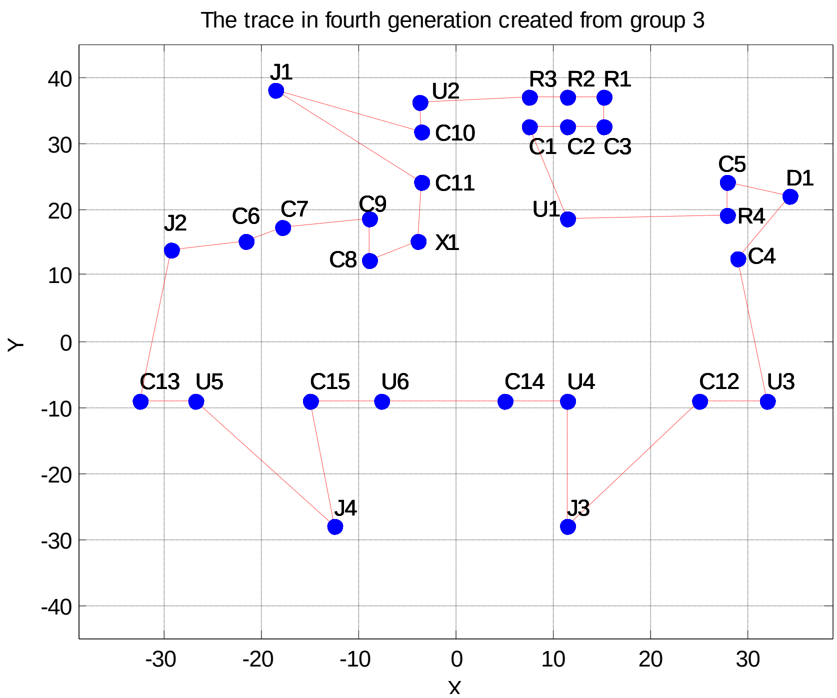


الشكل (5.12) المسار الثاني في الجيل الرابع الناتج من الدمج في المجموعة الأولى

لدينا في الجيل الرابع ثلاثة مسارات ونتيجة للتطابق بين المسار الأول والمسار الثاني يتم حذف أحدهما ليبقى لدينا مسارين في الجيل الرابع يتم الدمج بينهما لإنتاج مسارات في الجيل الخامس، وهذين المسارين المتبقيين في الجيل الرابع يكونان مبينان في الشكلين 5.13, 5.14.

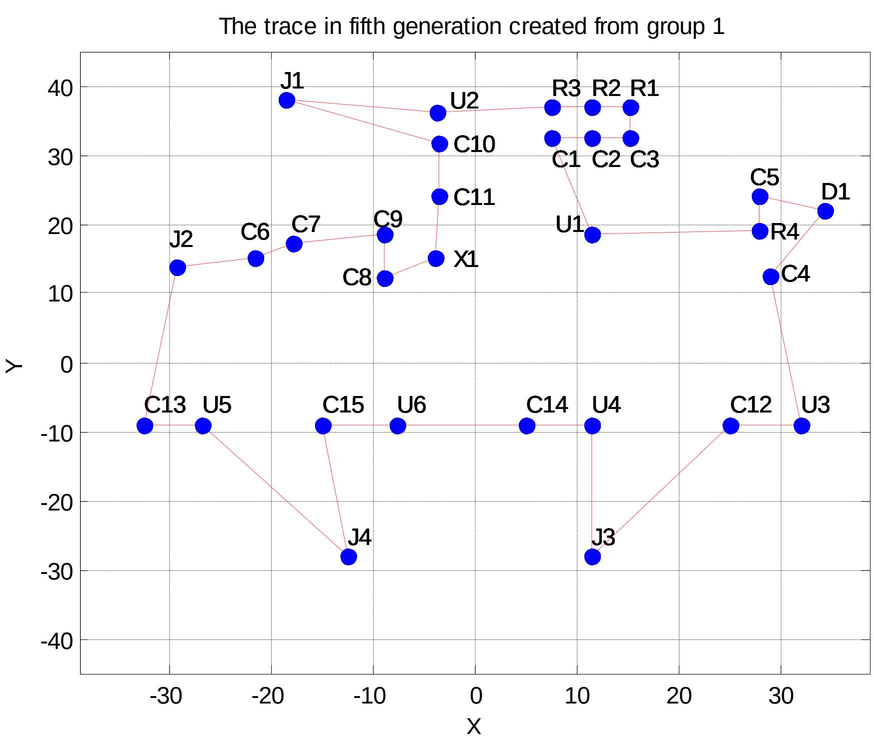


الشكل (5.13) المسار الأول الناتج في الجيل الرابع بعد الحذف



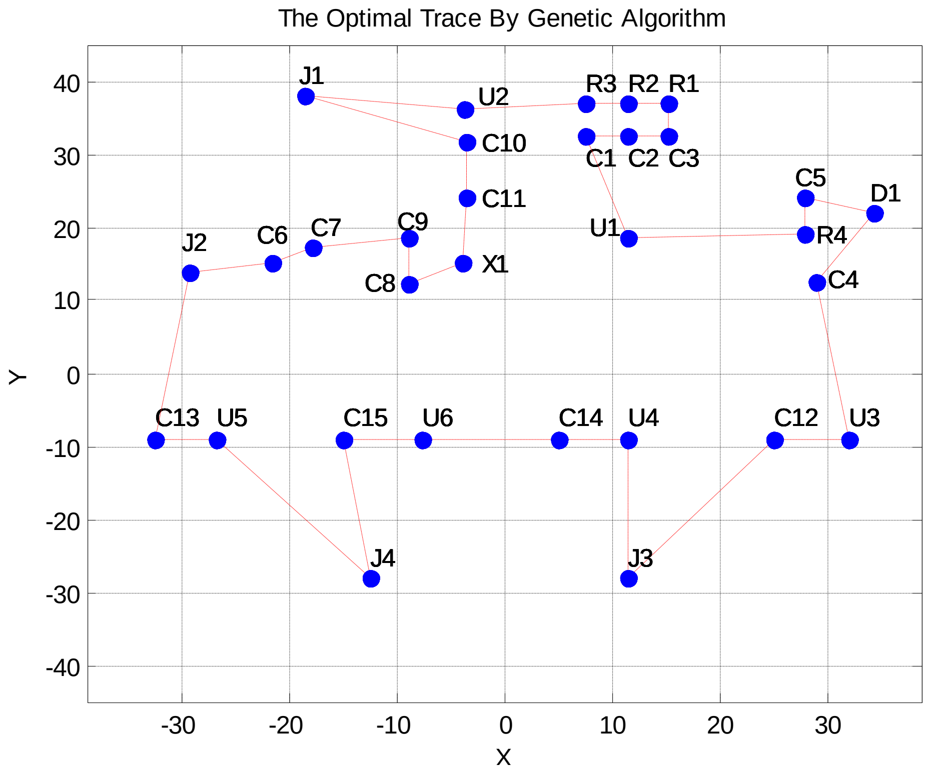
الشكل (5.14) المسار الثاني الناتج في الجيل الرابع بعد الحذف

المسار الناتج في الجيل الخامس من عملية الدمج بين المسارين في الجيل الرابع يكون مُبين على الشكل 5.15.



الشكل (5.15) المسار من الجيل الخامس الناتج من عملية الدمج بين مساري الجيل الرابع

يعتبر المسار الذي تم التوصل إليه في الجيل الخامس على أنه المسار الأمثلي لتجميع الدارة المطبوعة حسب الخوارزمية الجينية ويكون مُبين على الشكل 5.16.



الشكل (5.16) المسار الأمثلي بالنسبة لحركة الطاولة

وزمن التجميع حسب هذا المسار هو 28.0522 ثانية.

المقارنة بين خوارزمية النحل والخوارزمية الجينية:

يبين الجدول أهم النتائج التي تم التوصل إليها في البحث كمقارنة بين خوارزمية النحل والخوارزمية الجينية وتطبيق كلا الخوارزميتين في التجميع الأمثلي للدارات المطبوعة.

المعيار	الخوارزمية الجينية	خوارزمية النحل
الحل الأمثل	تم الحصول على مسار تجميع تجميع ذي زمن تجميع 28.0522 ثانية.	تم الحصول على مسار تجميع تجميع ذ ي زمن تجميع 25.6664 ثانية.
السرعة في الوصول إلى الحل الأمثل	تم الوصول إلى الحل الأمثلي خلال 50 ثانية من تشغيل البرنامج.	تم الوصول إلى الحل الأمثلي خلال 15 ثانية من تشغيل البرنامج.
مجالات الاستخدام	لا تفضل عادة في أنظمة التحكم الذاتية وأنظمة التوجيه والأنظمة سريعة الإستجابة نظراً لسرعتها المحدودة في الوصول إلى الحل الأمثل.	يمكن استخدامها مع كافة أنظمة التحكم الآلية وأنظمة الملاحقة والتوجيه والتحكم الذاتي لسرعتها في الوصول إلى الحل أمثل في الأنظمة سريعة الإستجابة.

الإنتاجية	1124189 دارة مطبوعة في العام.	1228802 دارة مطبوعة في العام.
التوفير	–	1. تم توفير 2.3858 ثانية في زمن التجميع. 2. تـــم زيـــادة عـــدد الدارات المطبوعـــة التي يتم إنتاجها خلال عام إلى 104613 مطبوعة.

الخلاصة:

في هذا البحث إستخدمت خوارزمية النحل في الحصول على مسار التجميع الأمثلي والذي يؤمن أقل زمن ممكن لتجميع الدارة المطبوعة، وقد أظهرت نتائج المحاكاة الحاسوبية أن خوارزمية النحل قادرة على الوصول إلى حلول أمثلية أفضل من الخوارزمية الجينية.

الأفكار المقترحة لتطوير البحث:

من الأفكار المقترحة لتطوير البحث مستقبلاً:

1. تطبيق خوارزمية النحل في تجميع دارات مطبوعة معقدة ذات عناصر أكثر وتوصيلات أكثف بين العناصر.

2. تطبيق خوارزمية النحل في تجميع الدارات المطبوعة متعددة الطبقات.

3. مقارنة خوارزمية النحل مع خوارزميات أخرى كخوارزمية النمل وغيرها.

Abstract

This paper discusses the application of the Bees Algorithm to the solution of two common problems associated with a printed circuit board assembly machine, namely, feeder arrangement and component placement sequencing. Computational experiments show that the Bees Algorithm gives a significant reduction in assembly time compared to the results obtained with the Genetic Algorithm and Evolutionary Programming on a benchmark assembly task.

المراجع العلمية:

[1] Nelson K.M. and Wille L.T. *Comparative Study of Heuristics for Optimal Printed Circuit Board Assembly*. *Proc Southcon 95*. 1995. Fort Lauderdale, FL, USA, pp. 322 - 327.

[2] Leu M.C., Wong H., and Ji Z. *Planning of Component Placement/insertion Sequence and Feeder Setup in PCB Assembly Using Genetic Algorithm.* ASME Trans, Journal of Electronic Packaging, 1993. **115**: pp. 424-432.

[3] Ho W. and Ji P. *Optimal Production Planning for PCB Assembly*. 2007, London: Springer.

[4] Leipala T. and Nevalainen O. *Optimisation of the Movements of a Component Placement Machine.* European Journal of Operational Research, 1989. **38**: pp. 167-177.

[5] Ong N.S. and Tan W.C. *Sequence Placement Planning for High-speed PCB Assembly Machine.* Integrated Manufacturing Systems, 2002. **13**(1): pp. 35-46.

[6] Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koç E., Otri S., Rahim S., and Zaidi M. *The Bees Algorithm, A Novel Tool for Complex Optimisation Problems*. *Proc 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems*. 2006, Elsevier (Oxford), pp. 454-459.

[7] Pham D.T., Otri S., Afify A., Mahmuddin M., and Al- Jabbouli H. *Data Clustering Using the Bees Algorithm*. *Proc 40th CIRP International Manufacturing Systems Seminar*. 2007, Liverpool, UK

[8] Pham D.T., Otri S., Ghanbarzadeh A., and Koc E. *Application of the Bees Algorithm to the Training of Learning Vector Quantisation Networks for Control Chart Pattern Recognition*. *Proc 2nd IEEE Information and Communication Technologies.* 2006. Damascus, Syria, pp. 1624 - 1629.

[9] Pham D.T., Castellani M., and Ghanbarzadeh A. *Preliminary Design Using the Bees Algorithm*. *Proc 8th International Conference on Laser Metrology, CMM and Machine Tool Performance, LAMDAMAP*. 2007. Cardiff, UK: Euspen, pp. 420-429.

[10] Ong N. and Khoo L.P. *Genetic Algorithm Approach in PCB Assembly*. Integrated Manufacturing Systems,1999. **10**(5): pp. 256-265.
[3] Maimon O.Z. and Brha D. *A Genetic Algorithm Approach to Scheduling PCBs on a Single Machine*.International Journal of ProductionResearch, 1998. **36**(3): pp. 761- 784.
[11] Khoo L.P. and Ng T.K. *A Genetic Algorithm-based Planning System for PCB Component Placement*.International Journal of Production Economics, 1998. **54**: pp. 321-332.
[12] Ho W. and Ji P. *A Genetic Algorithm to Optimise the Component Placement Process in PCB Assembly*.International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005. **26**: pp. 1397–1401.

تصريح

أصرح بأن هذا البحث بعنوان **(تطبيق خوارزمية النحل في التجميع الأمثلي للدارات المطبوعة PCB)** لم يسبق أن قبل للحصول على أي شهادة، ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهاة أخرى.

المرشح

المهندس أيمن علي الجربوع

Declaration

I herby certify that this work (**Application of the bees algorithm to PCB assembly optimization**) has not been accepted for any degree or it is not submitted to any other degree.

Candidate

Eng. Ayman Al jarbouh

شهادة

نشهد بأن العمل المقدّم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشّح المهندس أيمن علي الجربوع طالب الماجستير في قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة في كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب، بإشراف الدكتور عبد الرحمن حسين (المشرف الرئيس) الأستاذ المساعد في قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة من كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية جامعة حلب والدكتور مروان لباد (المشرف المشارك) المدرس المؤصل في قسم هندسة التحكم الآلي والأتمتة من كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية جامعة حلب.

إن أية مراجع أخرى ذكرت في هذا العمل موثقة في نص الرسالة وحسب ورودها في النص.

المرشّح	المشرف المشارك	المشرف الأساسي
المهندس أيمن علي الجربوع	**الدكتور مروان لباد**	**الدكتور عبد الرحمن حسين**

Testimony

We witness that the described work is the result of scientific search conducted by the candidate **Engineer Ayman Ali Al Jarbouh**, under the supervision of **doctor AbdulRahman Hussein** (main supervisor) professor at the department of Automatic Control & Automation, Faculty of electrical and electronic engineering, University of Aleppo, and **doctor Marwan Labbad** (assistant supervisor) professor at the department of Automatic Control & Automation, Faculty of electrical and electronic engineering, University of Aleppo. Any other references mentioned in this work are documented in the text of the treatise.

Candidate	Assistant supervisor	Main supervisor
Eng. Ayman Al jarbouh	**Dr. Marwan Labbad**	**Dr. AbdulRahman Hussein**